

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Technologický test a analýza lisovacích  
nástrojů pro vkládání funkčních prvků**

**Technological Test and Analysis of Pressing  
Tools for the Insertion of Functional  
Elements**

Student:

Ing. Bc. Martin Diviš

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Bc. Martin Diviš**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: **Technologický test a analýza lisovacích nástrojů pro vkládání funkčních prvků**  
**Technological Test and Analysis of Pressing Tools for the Insertion of Functional Elements**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor technologie lisování funkčních prvků.
2. Rozbor konstrukčních a technologických koncepcí lisovacích nástrojů.
3. Návrh metodiky testování lisovacích nástrojů v provozu.
4. Technické a ekonomické hodnocení návrhu.

### Seznam doporučené odborné literatury:


BOLJANOVIC, V. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 1.st. ed. New York: Industrial Press, 2004. 219 p. ISBN 0-8311-3182-9.  
BACA, J., BÍLIK J., TITTEL V. *Technológia tvárnenia*. 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.  
ROGER, P. *Sheet Metal Forming*. IOP Publishing, 1991.  
BOLJANOVIC, V. *Sheet Metal Forming Processes and Dies Design*. Industrial Press, New York, 2004.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

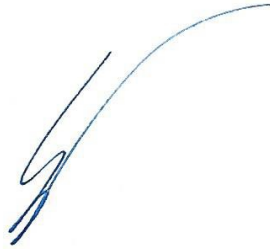
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.  
vedoucí katedry



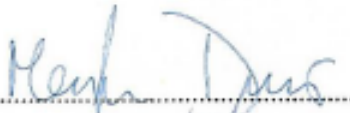
  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísečné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje a technické parametry získané od firmy TOX® PRESSOTECHNIK GmbH & Co. KG, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 21. května 2018.

  
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́доміі, же - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018

  
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Ing. Bc. Martin Diviš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bohdíkov 185, 789 64

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIVIŠ, M. *Technologický test a analýza lisovacích nástrojů pro vkládání funkčních prvků: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 67 s. Vedoucí práce: Hrubý, J.

Diplomová práce se zabývá testem, analýzou a návrhem lisovacích nástrojů, matic, pro technologii lisování funkčních prvků. Materiál pro zkoušky zalisování je běžně používaný ALMg3 tloušťky 2,5 mm a 5,25 mm. Funkčními prvky jsou lisovací matice M6 a M10. Pro různé výšky lisovacího kroužku matic jsou použity různé velikosti lisovacích sil. Změřené pevnostní hodnoty, točivý moment a síla pro vylisování prvku jsou následně vyhodnoceny. Cílem práce je navrhnout nejvhodnější typ matrice a lisovací síly pro zkoušené prvky. Celá práce vychází z požadavků konkrétního zákazníka.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

DIVIŠ, M. *Technological Test and Analysis of Pressing Tools for the Insertion of Functional Elements: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2018, 67 p. Thesis head: Hrubý, J.

The master thesis deals with test, analysis and design of pressing tools, matrices, for technology of pressing of functional elements. The pressing test material is commonly used with ALMg3 thickness of 2.5 mm and 5.25 mm. Functional elements are the M6 and M10 nuts. Various sizes of pressing forces are used for different heights of the die ring. Measured strength values, torque and force for element compression are evaluated. The aim of the thesis is to design the most suitable type of matrix and pressing force for the tested elements. All the work is based on the requirements of a particular customer.

# OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....	8
ÚVOD .....	9
1. SPOLEČNOST TOX <sup>®</sup> PRESSOTECHNIK .....	10
1.1 Historie TOX <sup>®</sup> Pressotechnik .....	10
1.2. Produkty TOX <sup>®</sup> Pressotechnik .....	11
2. TEORIE POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ .....	12
2.1 Základní pojmy .....	12
2.2 Základní mechanismy plastické deformace .....	15
2.3 Stříhání materiálu .....	18
3 FUNKČNÍ PRVKY .....	22
3.1 Dodavatelé funkčních prvků .....	23
3.1.1 RB&W Manufacturing, LLC .....	23
3.1.2 ARNOLD UMFORMTECHNIK GmbH & Co. KG .....	24
3.1.3 PROFIL Verbindungstechnik GmbH & Co. KG .....	24
3.1.4 Richard Bergner Holding GmbH & Co. KG .....	25
3.2 Technologie montáže funkčních prvků .....	26
3.2.1 Klinčovací elementy .....	26
3.2.2 Prostřihávací elementy .....	27
3.2.3 Elementy do otvoru .....	28
3.2.4 Nýtovací elementy .....	29
3.3 Zkoušky funkčních prvků .....	30
3.3.1 Zkoušky točivého momentu .....	30
3.3.2 Zkouška síly vylisování .....	30
3.4 Lisovací proces funkčních prostřihávacích prvků .....	31
4 CÍL A METODIKA PRÁCE .....	33
4.1 Cíl práce .....	33

4.2 Metodika .....	34
4.2.1 Plán práce .....	34
4.2.2 Zkušební materiál .....	34
4.3 Použité přístroje .....	35
4.4 Lisovací nástroje - matrice .....	37
4.5 Kvalitativní požadavky na provedené zalisování matic.....	40
5 TEST A ANALÝZA PRVKŮ A NÁSTROJŮ .....	41
5.1 Matice M6 x 1,0 x 2,2 - 51 1C 059C 23 .....	41
5.1.1 Lisovací síly.....	41
5.1.2 Střížná síla M6 x 1,0 x 2,2.....	45
5.1.3 Výsledky pevnostních zkoušek M6 x 1,0 x 2,2.....	46
5.1.4 Broušené řezy lisovacích prvků M6 x 1,0 x 2,2 .....	48
5.2 Matice M10 x 1,5 x 5,25 - 51 3N O49C 20 .....	49
5.2.1 Lisovací síly M10 x 1,5 x 5,25 .....	49
5.2.2 Střížná síla M10 x 1,5 x 5,25.....	53
5.2.3 Výsledky pevnostních zkoušek M10 x 1,5 x 5,25 .....	53
5.2.4 Broušené řezy lisovacích prvků M10 x 1,5 x 5,25 .....	56
6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	58
6.1 Matice M6 x 1.0 x 2,2 - 51 1C 059C 23 .....	58
6.2 Matice M10 x 1.5 x 5.25 - 51 3N O49C 20 .....	59
7 ZÁVĚR.....	62
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	65
9 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	66
10 SEZNAM TABULEK .....	67
11 SEZNAM PŘÍLOH.....	67

# SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

$C$	[MPa]	- součinitel pevnosti
$F_{id}$	[N]	- ideální tvářecí síla
$F_{max}$	[N]	- maximální hodnota síly pevnostní zkoušky v tahu
$F_{sk}$	[N]	- skutečná tvářecí síla
$F_t$	[N]	- tečná síla
$h$	[mm]	- hloubka zatlačení horního nože
JLR		- Jaguar Land Rover
$l_0$	[mm]	- počáteční délka, před deformací
$l_1$	[mm]	- konečná délka, po deformaci
$n$	[–]	- exponent deformačního zpevnění
$p$	[MPa]	- tvářecí tlak
$R_e$	[MPa]	- napětí na mezi kluzu
$R_{eH}$	[MPa]	- horní mez kluzu
$R_{eL}$	[MPa]	- dolní mez kluzu
$R_m$	[MPa]	- napětí na mezi pevnosti
$R_{ms}$	[MPa]	- pevnost materiálu ve stříhu
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	- plocha průřezu
$s$	[mm]	- tloušťka materiálu
SAP		- software pro plánování podnikových zdrojů
$T_{tav}$	[°C]	- teplota tavení materiálu
$v$	[ms <sup>-1</sup> ]	- rychlost
$\bar{x}$	[μm]	- aritmetický průměr
$\sigma_d$	[MPa]	- deformační odpor
$\sigma_p$	[MPa]	- přirozený deformační odpor
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	[MPa] -	- složky normálového napětí
$\varepsilon_l$	[%]	- poměrná délková deformace
$\varphi_l$	[–]	- logaritmická délková deformace
$\varnothing$	[mm]	- průměr
$\tau_{KR}$	[MPa]	- kritické smykové napětí
$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$	[MPa]	- smykové napětí
$z$	[mm]	- střižná mezera



# ÚVOD

Ve velké řadě oborů jsou jednotlivé díly vybavovány prvky, jako jsou matky, trny, šrouby, nýty a další, tyto prvky nazýváme funkčními prvky resp. elementy. Funkční elementy jsou používány převážně ve výrobcích jako pračky a myčky, otopná tělesa, rámy dveří aut a ve spotřební elektronice atd. [1]

Nejvhodnějšími způsoby osazení těchto prvků jsou lisování do předděrovaného otvoru, lisování s prostřihem materiálu a klinčovací nebo nýtovací proces. Tyto procesy jsou podrobněji uvedeny v kapitole 3.2

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením konkrétního požadavku technologie lisovacích prvků. Funkční prvky matice M6 (Příloha A) a matice M10 (Příloha B), od firmy RB&W Corporation jsou zalisovány s prostřihem do materiálu AlMg3 tloušťky 2,5 mm a 5,25 mm.

Prvky jsou při těchto zkouškách zalisovány různou lisovací silou do nástrojů (matic) s různou výškou lisovacího kroužku. Vyhodnocovány jsou hodnoty točivého momentu a síly vylisování funkčního prvku (matice) v závislosti na lisovací síle a výšce lisovacího kroužku, tzn. je zkoumán vliv typu nástroje. Požadavek na hodnoty točivého momentu a síly vylisování je zadán předpisem zákazníka firmy JLR. Současně jsou zhotoveny, pro lepší analýzu a vyhodnocení procesu, broušené řezy jednotlivých testovaných variant.

Cíl práce je, vyhodnocením výsledků a analýzou lisovacího procesu prvků, navrhnout variantu nejvhodnějšího typu nástroje (matrice) a lisovací síly pro daný prvek. Předpokládá se, že návrh zoptimalizuje a zefektivní celý proces osazování těchto a podobných funkčních prvků. Současně se touto prací získají data procesu zalisování, která bude možné využít pro další podobné projekty.

# 1. SPOLEČNOST TOX<sup>®</sup> PRESSOTECHNIK

Téma diplomové práce bylo zadáno německou firmou TOX Pressotechnik a vlastní praktické testy probíhaly v jejich laboratořích v centrále firmy ve Weingartenu, viz Obr. 1.

## 1.1 Historie TOX<sup>®</sup> Pressotechnik

Společnost TOX<sup>®</sup>-Pressotechnik byla založena roku 1978 panem Eugenem Raapem a celá skupina společností patří jeho rodině dodnes.

Centrála a technologické centrum společnosti sídlí v Německém Weingartenu, viz Obr. 1, kde zaměstnává přes 500 pracovníků. Ve svých 18 dceřiných společnostech po celém světě má firma více než 1300 spolupracovníků. Nejvýznamnější dceřiné pobočky jsou v Číně, Indii, Brazílii a USA. [2]



Obr. 1 Tox<sup>®</sup> - Pressotechnik – centrála Weingarten [3]

## 1.2. Produkty TOX<sup>®</sup> Pressotechnik

TOX<sup>®</sup>-Pressotechnik je významný dodavatel v oblasti technologie spojování plechů, pohonů pro lisy, lisů a speciálního strojního vybavení.



Obr. 2 Produktový program

Produkty společnosti jsou v převážné většině nástroje pro technologie spojování metodou klinčování, pneumohydraulické válce TOX<sup>®</sup>-Kraftpaket, servopohony TOX<sup>®</sup>-ElektricDrive, ruční a robotické kleště, mnoho typů lisů pro všestranné použití a monitoring lisovacích procesů. Přehled sortimentu viz Obr. 2.

Zákazníky jsou významné firmy z oblasti automobilů, bílého domácího zboží, elektro průmyslu, stavebnictví a mnoha dalších oblastí.

## 2. TEORIE POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ

Tato kapitola shrnuje základní pojmy a teorii, které budou v diplomové práci využity.

### 2.1 Základní pojmy

Tváření kovů disponuje v současné době velkým množstvím specifických zaužívaných pojmů a označení, kterými se popisují tvárné vlastnosti materiálů, základní a technologické procesy tváření a činnosti a zařízení pro jejich uskutečnění. [4]

#### **Mezi základní pojmy v oblasti tváření patří:**

- pojmy vyjadřující plastické vlastnosti kovů
- pojmy pro kvantitativní vyjádření velikosti trvalé změny tvaru, časové změny tváření a tvářitelnosti
- pojmy vyjadřující velikostí tvářecích sil a energií
- pojmy pro vyjádření činnosti spojené s tvářením

#### **Pojmy vyjadřující plastické vlastnosti kovů**

Deformační schopnost – je schopnost tuhých těles měnit tvar a rozměry pod vlivem účinku působení vnějších sil pomocí tvářecího nástroje. Vztahuje se na celkové přetvoření, tj. pružné i plastické přetvoření nebo deformaci. [4]

Deformace – změna tvaru tělesa způsobená vnějšími silami. [4]

Tvářitelnost (technologická tvářitelnost) – schopnost materiálu měnit tvar a rozměry pod vlivem účinku působení vnějších sil bez porušení soudržnosti v konkrétních technologických podmínkách. [4]

#### Tvářitelnost kovových materiálů zahrnuje dvě stránky:

- geometrickou – dosažená změna tvaru a rozměru

- silovou – velikost napětí potřebného pro vyvolání a průběh plastického přetvoření, tvářecí síla nebo přetvárný (deformační) odpor

### Tváření

- zpracování materiálu velkými plastickými deformacemi (trvalá změna tvaru a rozměrů tělesa účinkem vnějších sil pomocí tvářecího nástroje a stroje). [5]
- vyvolání stavu napjatosti nad mezí kluzu materiálu (vzniká tak trvalá deformace požadovaného směru a velikosti bez porušení tvářeného materiálu). [5]
- vhodné především pro plastické materiály (umožňují trvalou deformaci bez porušení). [5]

### **Pojmy pro vyjádření velikosti trvalé změny tvaru a časové změny přetvoření**

Oblast přetvoření – ohraničený prostor části objemu polotovaru, ve kterém probíhá proces tváření. [4]

Ohnisko přetvoření – část oblasti přetvoření, ve kterém je největší intenzita přetvoření. [4]

Přetvoření – úmyslná změna dosažená tvářením. [4]

### Výpočet deformace:

Poměrná délková deformace:

$$\varepsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} * 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

$l_0$  – počáteční délka, před deformací,  $l_1$  – konečná délka, po deformaci

Logaritmická délková deformace:

$$\varphi_l = \ln \frac{l_1}{l_0} \quad [-] \quad (2.2)$$

Poměrná průřezová deformace:

$$\varepsilon_S = \frac{S_0 - S_1}{S_0} * 100 \quad [\%] \quad (2.3)$$

$S_0$  – počáteční průřez, před deformací,  $S_1$  – konečný průřez, po deformaci

Logaritmická průřezová deformace:

$$\varphi_S = \ln \frac{S_1}{S_0} \quad [-] \quad (2.4)$$

Rychlost přetvoření – časová změna přetvoření, tj. velikost přetvoření za jednotku času. Pokud rychlost přetvoření překročí  $10^3 \text{ s}^{-1}$  mluvíme o vysokorychlostním přetvoření. Se zvyšováním rychlosti přetvoření roste deformační odpor materiálu a zvyšuje se tvářitelnost.

Rychlost absolutního přetvoření:

– při prodloužení:  $v_n = \frac{dl}{dt} \quad [\text{ms}^{-1}] \quad (2.5)$

dl – délková změna pro přetvoření, dt – jednotka času

– při stlačení:  $v_n = \frac{dh}{dt} \quad [\text{ms}^{-1}] \quad (2.6)$

### Pojmy vyjadřující velikostí tvářecích sil a energií

Napětí – je vnitřní síla v zatíženém tělese vztažená na jednotku průřezu. [4]

Rozeznáváme:

– normálové napětí  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z \quad [\text{MPa}]$

– smykové napětí  $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz} \quad [\text{MPa}]$

Mez kluzu (plasticity)  $R_e$  [MPa] – je normálové napětí, při kterém začíná výrazná trvalá změna tvaru tělesa zatíženého jednoosým napětím. [4]

Přírozený deformační odpor  $\sigma_p$  [MPa] – skutečné normálové napětí, bez pasivních odporů potřebné pro vyvolání případně průběh plastického přetvoření v materiálu při jednoosém zatížení. Je to vlastně odpor, který klade materiál proti přetvoření v ideálních (domluvených) podmínkách. Při daném složení, struktuře a stavu materiálu závisí na teplotě, rychlosti přetvoření a velikosti přetvoření. Přírozený deformační odpor se určuje z křivek přetvárné pevnosti (křivky přírozených deformačních odporů). [4]

Deformační odpor  $\sigma_d$  [MPa] – je odpor, který klade materiál proti přetvoření při tváření v konkrétních technologických podmínkách. Jeho velikost je dána přirozeným deformačním odporem tvářeného materiálu, stavem napjatosti a vnějším třením. [4]

Tvářecí tlak – je tlak na čelní plochu nástroje, vyvolaný přetvárným odporem výtvarku. Na styčné ploše platí:

$$p = \sigma_d \quad [\text{MPa}] \quad (2.7)$$

Tvářecí síla – vnější zatížení působící prostřednictvím nástroje na výrobek

- ideální tvářecí síla  $F_{id} = \sigma_{ps} \cdot S \quad [\text{N}] \quad (2.8)$

- skutečná tvářecí síla  $F_{sk} = \sigma_{ds} \cdot S \quad [\text{N}] \quad (2.9)$

Tvářecí práce – práce vynaložená na přetvoření objemu „V“ o hodnotu  $\phi$

Pracovní diagram operace – závislost průběhu tvářecí síly na dráze nástroje. Plošný obsah pracovního diagramu představuje práci vynaloženou na danou operaci.

### **Pojmy vyjadřující činnost spojenou s tvářením**

Formování – proces tváření, při kterém tělesa nabývají nového tvaru.

Technologie tváření – výrobní proces, při kterém se používá tváření.

Výtwarek – všeobecný název výrobku zhotoveného tvářením bez ohledu na druh tvářecí operace.

## **2.2 Základní mechanismy plastické deformace**

Znak charakterizující kovové materiály je jejich plasticita, tj. možnost trvalé změny jejich tvaru bez porušení soudržnosti.

V kovových materiálech rozeznáváme mechanismy plastického přetvoření:

1. Kluz
2. Dvojčatění
3. Difuze

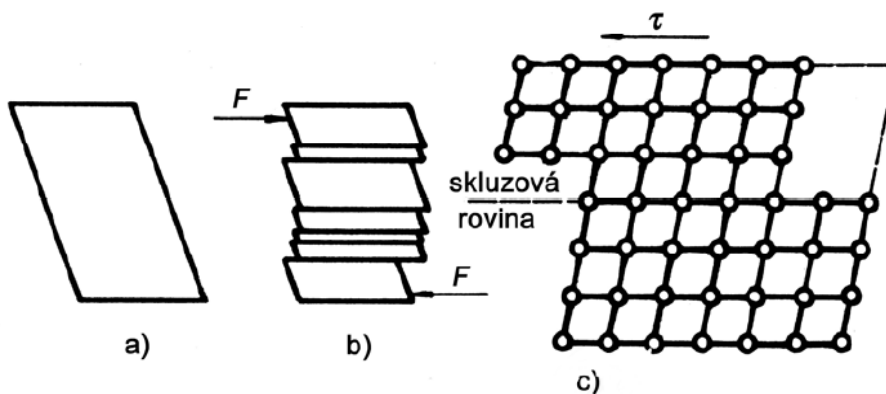
1. Kluz:

- základní mechanismus plastické deformace, viz Obr. 3
- kluzový systém je určen rovinou kluzu a směrem kluzu
- velikost posuvu je celočíselným násobkem nejmenší mřížkové vzdálenosti
- napětí potřebné ke kluzu – kritické smykové napětí

$$\tau_{KR} = \frac{F_t}{S} \quad [\text{MPa}] \quad (2.10)$$

$F_t$  – tečná síla (N),  $S$  – plocha průřezu tělesa skloněná vůči ose tělesa o úhel  $\alpha$  ( $\text{mm}^2$ )

- *jednoduchý kluz (translační)* – vzniká v počátečním stádiu plastické deformace, probíhá podle jednoho systému kluzových čar
- *složitý kluz* – vzniká při dalším zatěžování, probíhá současně v několika kluzových systémech

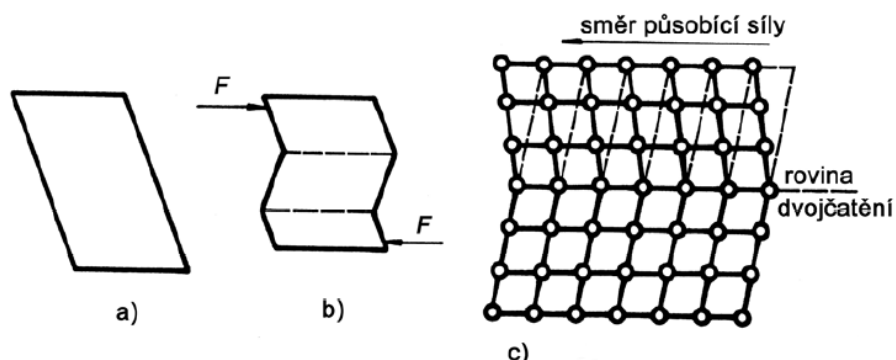


Obr. 3 Plastická deformace kluzem [5]

2. Dvojčatění:

- vlivem vnějších sil se část krystalu symetricky pootočí kolem roviny dvojčatění a vytvoří zrcadlový obraz nedeformované části, viz Obr. 4
- deformace kovu při vzniku dvojčat nemůže být velká (vzniká značné zpevnění), další deformace se zpravidla děje kluzovým mechanismem





Obr. 4 Plastická deformace dvojčatěním [5]

### 3. Difúze:

- základní předpoklady jsou vysoká teplota a velmi malá deformační rychlost
- přemísťování atomů vlivem napětí do míst s energeticky výhodnějšími podmínkami

### **Deformační zpevnění**

Plastická deformace za studena se uskutečňuje translačním kluzem v jednotlivých zrnech, kterého nositelé jsou pohyblivé dislokace. Následuje proces drobení a přizpůsobující se proces rotace a translace subzrn a potom zrn.

Vše, co brání pohybu dislokací, způsobuje zpevnění materiálu. Zpevnění se projevuje tím, že na pokračování plastického přetvoření je nutné zvyšovat napětí.

Velikost napětí potřebného pro proces tváření se určuje z křivek zpevnění nebo křivek přirozeného deformačního odporu, případně z křivek deformačních odporů.

Na stupeň zpevnění má vliv stupeň přetvoření, rychlost přetvoření, teplota, tvar a rozměry tělesa, kvalita povrchových vrstev, tedy použitá technologie výroby.

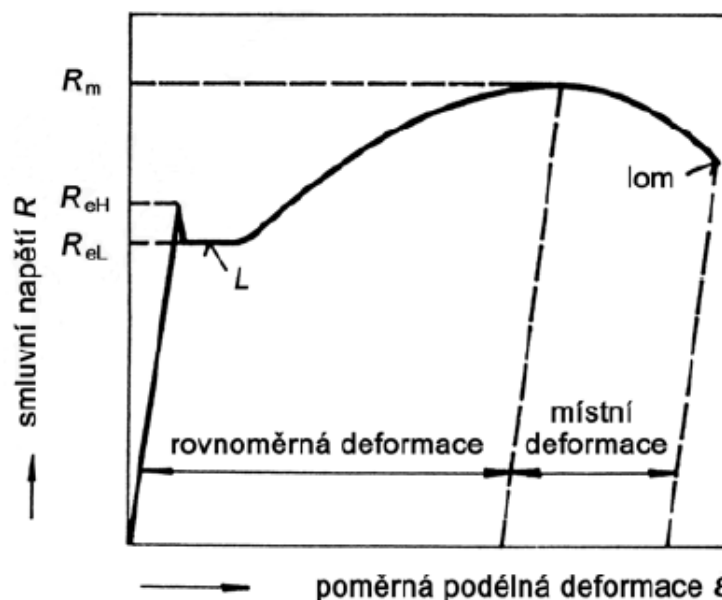
### **Křivky zpevnění**

- určují závislost mezi velikostmi napětí v tvářeném tělese a velikostmi deformace při jednoosém stavu napjatosti:

$$\sigma = C \cdot \varphi^n \quad [\text{MPa}] \quad (2.11)$$

$n$  – exponent deformačního zpevnění, vyjadřuje vhodnost plechu pro tváření vypínáním, čím je hodnota součinitele větší, tím je plech vhodnější pro hluboké tažení, jeho hodnota se zjišťuje tahovými zkouškami.

$C$  – součinitel pevnosti (MPa)



Obr. 5 Křivka zpevnění (tahový diagram měkké uhlíkové oceli) [5]

L – Lüdersova deformace, deformace bez růstu napětí, způsobuje viditelné kluzové čáry na povrchu vzorku.

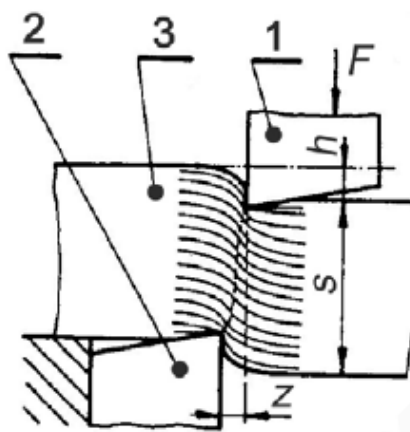
## 2.3 Stříhání materiálu

Stříhání je metodou dělení materiálu stříhem. V kovech začíná stříhání pružnou, pokračuje plastickou deformací a po místním vyčerpání plasticity končí lomem.

- A) Plošné stříhání
- B) Objemové stříhání

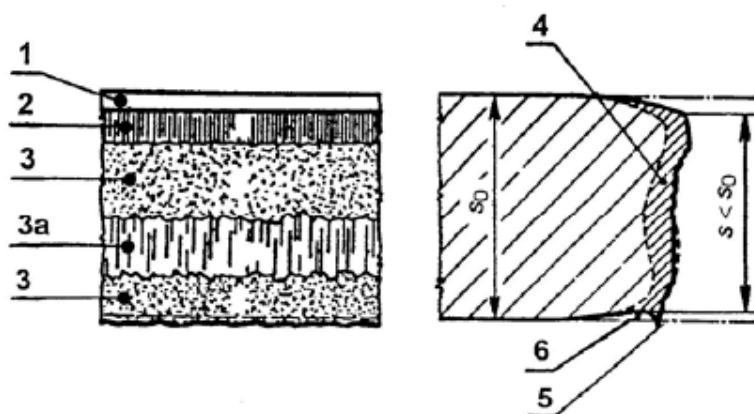
### A Plošné stříhání

Stříhání – oddělování částic materiálu smykovým působením dvojice nástrojů podél křivky stříhu, viz Obr. 6.



Obr. 6 Deformace vláken v místě stříhu [5]  
 (1 – horní nůž, 2 – spodní nůž, 3 – stříhaný materiál,  
 s – tloušťka materiálu, h – hloubka zatlačení horního nože,  
 z – střižná mezera)

Tvar a jakost střižné plochy závisí na vlastnostech materiálu, velikosti střižné mezery, tvaru a geometrii střižných hran, stavu napjatosti a rychlosti stříhání. Oblasti na střižné ploše viz Obr. 7.



Obr. 7 Oblasti na střižné ploše [5]  
 (1 – zeslabení tloušťky, 2 – oblast plastického stříhu, 3 – oblast lomu,  
 3a – oblast otěru, 4 – zpevněná oblast, 5 – otřep, 6 – vtisk spodního nože)

Střižná mezera mezi noži ovlivňuje jakost střižné plochy, velikost střižné síly a trvanlivost nástroje. Optimální střižná mezera je taková, při které se dosáhne kvalitní střižné plochy při nejmenší střižné síle. Velikost střižné mezery se pohybuje v rozmezí 3 – 20 % tloušťky plechu.

Pro tenké plechy do tloušťky 3 mm:

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad [\text{mm}] \quad (2.12)$$

Pro tlusté plechy o tloušťce nad 3 mm (do 10 až 12):

$$z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad [\text{mm}] \quad (2.13)$$

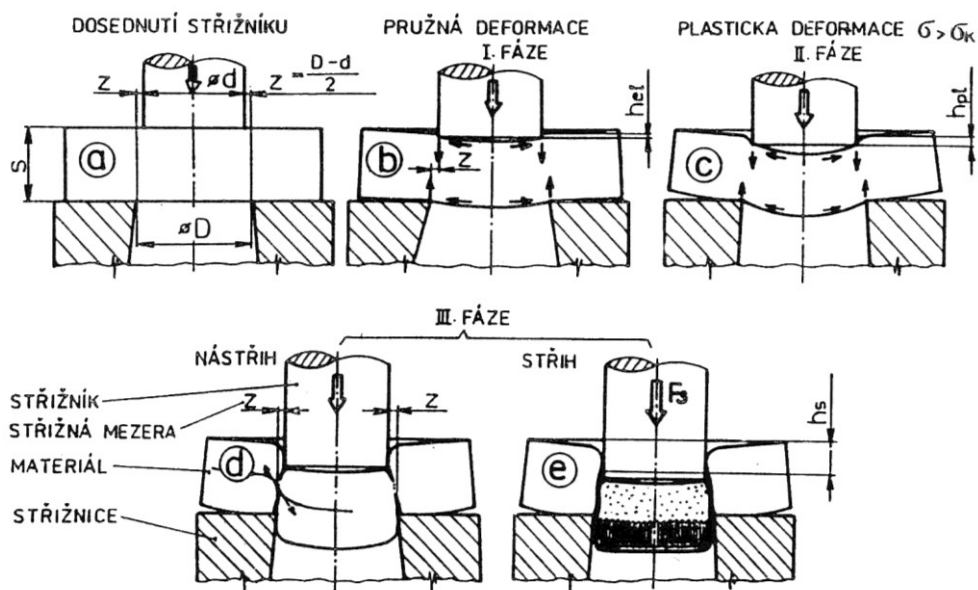
$c$  – koeficient závislý na druhu stříhání, volí se v rozmezí 0,005 – 0,035 ( $c = 0,005$  pro dosažení kvalitního povrchu střížné plochy,  $c = 0,035$  pro dosažení minimální střížné síly)

$R_{ms}$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

$s$  – tloušťka plechu [mm]

Při děrování pevným nástrojem rozlišujeme 3 fáze stříhání, viz Obr. 8:

- I. pružná deformaci po dosednutí ( $\sigma < R_e$ ), stříhaný materiál se zaobljuje
- II. vznik trvalé deformaci ( $\sigma > R_e$ )
- III. vznik trhlinek u břitů ( $\sigma > R_{ms}$ ), ty postupují proti sobě, materiál se začíná oddělovat, čím je materiál tvrdší a křehčí, tím nastane dříve



Obr. 8 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [6]

Střížná plocha:

$$S = L \cdot s \quad [\text{mm}^2] \quad (2.14)$$

$L$  – délka stříhu [mm],  $s$  – tloušťka stříhaného plechu [mm]

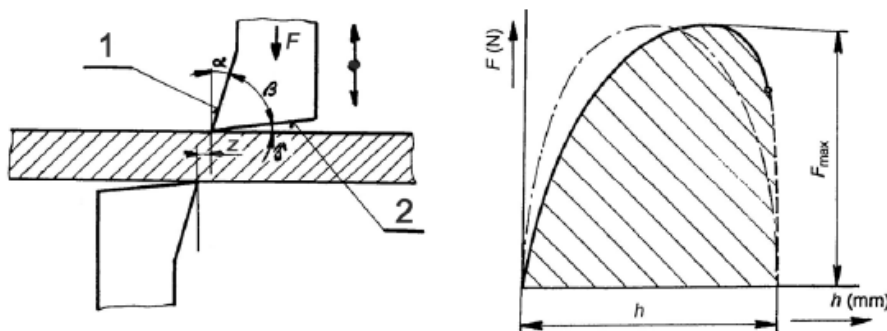
### Maximální střížná síla:

$$F_{max} = S \cdot R_{ms} \cdot k \quad [\text{N}] \quad (2.15)$$

$k$  – součinitel, zahrnující vlivy zvyšující střížnou sílu (otupení řezných hran, vliv seřízení nástroje, zvětšení mezery mezi noži opotřebováním), v rozmezí 1,25 až 1,5

$F_{max}$  – střížná síla maximální, protože se v průběhu stříhání mění a jde o nejvyšší hodnotu této síly v průběhu celé operace.

Průběh střížné síly (pracovní diagram) při stříhu rovnoběžnými noži viz Obr. 9. Práce spotřebovaná ke stříhu je šrafovaná plocha pod křivkou skutečného průběhu síly. Plná čára znázorňuje skutečný průběh, čerchovaná znázorňuje nahrazení elipsou.



Obr. 9 Průběh střížné síly (pracovní diagram) při stříhu rovnoběžnými noži [6]

(1 – hřbet nože, 2 – čelo nože,  $z$  – střížná mezera,  $s$  – tloušťka stříhaného materiálu,  $h$  – hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu,  $F$  – střížná síly při stříhu rovnoběžnými noži,  $F_{max}$  – maximální střížná síla)

### Pevnost ve stříhu:

$$R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m \quad [\text{MPa}] \quad (2.16)$$

### Střížná práce:

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot F_{max} \cdot \frac{h}{2} \quad [\text{J}] \quad (2.17)$$

$h$  – hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu do okamžiku porušení (plastický stříh) [mm]

### 3 FUNKČNÍ PRVKY

V mnoha odvětvích se používají komponenty s prvky jako matice, šrouby, čepy apod., viz Obr. 10. Tyto spojovací elementy je možné zalisovat do téměř každého materiálu.



Obr. 10 Základní přehled funkčních prvků [7]

Pro každý spojovací element se nabízí rychlý, spolehlivý a nenákladný proces. Tato, většinou automatizovaná, technika spojování za studena, prováděná spojení, jsou ve většině případů výhodná z hlediska nákladů. Oproti jinému spojení, jako např. svařování, nezpůsobují žádné dodatečné práce a deformace zpracovávaných materiálů výrobků.

Spojení lisováním, nabízející větší pevnost zejména s ohledem na točivý moment, vytlačovací sílu a neměnnou kvalitou, je možné snadno monitorovat pomocí různých doprovodných měřících metod. Průběžnou dokumentaci spojovacích parametrů oceňují uživatelé různých průmyslových odvětví po celém světě. [1]

Ve srovnání s rozšířeným procesem, funkční spojovací elementy, jako jsou matice a trny, na díl navařovat, nabízí lisovací provedení prvků následující výhody:

- rychlý a proveditelný proces
- automatické podávání elementů
- nejsou nutné žádné další materiály pro spojení

- kontrolovatelnost provedení spoje
- vysoká přesnost polohy prvku
- žádné vnášení tepla do obrobku
- žádné znečištění obrobku
- není nutné dodatečné opracování
- energeticky úsporný pracovní postup
- snížení mzdových nákladů
- úspora nákladů v zabezpečení kvality výroby

Vzhledem k tomu, že se práce zabývá maticemi SPAC® firmy RB&W Manufacturing, LLC týká se následující detailnější popis procesů těchto konkrétních prvků.

### **3.1 Dodavatelé funkčních prvků**

Dodavatelů funkčních prvků je celosvětově celá řada, k nejvýznamnějším patří firmy uvedené v této kapitole 3.1.

#### **3.1.1 RB&W Manufacturing, LLC**

RB&W Manufacturing, LLC je lídrem v technologii tváření za studena a jedním z největších producentů za studena tvářených dílů v USA. Spojovací díly vyráběné firmou RB&W nalezneme v současné době na celé řadě osobních i nákladních automobilech. [2]

Produkty SPAC® (Self Pierce And Clinch) šrouby nebo matice, viz Obr. 11, jsou k dispozici ve velikosti M6 až do M16, použitelné pro materiál tloušťky od 0,8 mm až do 10 mm.

V diplomové práci jsou, vzhledem k zadání a zákaznickému požadavku, prováděny zkoušky a analýzy procesů lisovacích matic právě od firmy RB&W Manufacturing, LLC.

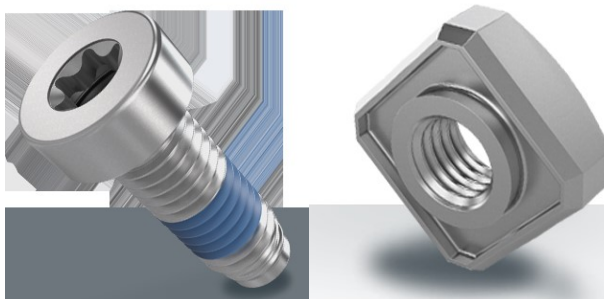


Obr. 11 SPAC® - šrouby a matice [8]

### 3.1.2 ARNOLD UMFORMTECHNIK GmbH & Co. KG

ARNOLD je německý dodavatel komplexních spojovacích systémů „BlueFastening Systems“. Mezi jedny z hlavních produktů patří lisovací šrouby a matice, klinčovací elementy a celá řada za studena formovaných dílů, viz Obr. 12. Elementy je možné osazovat buď do plného materiálu, kdy si element prostříhne vlastní otvor v matrici, nebo do materiálu s předpřipraveným otvorem.

Firma ARNOLD nabízí ke spojovacím produktům i zařízení pro aplikaci elementů různých stupňů automatizace.



Obr. 12 ARNOLD – spojovací prvky [9]

### 3.1.3 PROFIL Verbindungstechnik GmbH & Co. KG

PROFIL, německá firma, vyvíjí a dodává lisovací matice, šrouby a další elementy, které se technologií nýtování upevňují na plechové díly. Na Obr. 13 jsou znázorněny elementy, jednostupňové samolisovací, samonýtovací bez otvoru, samonýtovací do připraveného otvoru a pro jednostupňové nebo vícestupňové vlisování. Pro každý jednotlivý element a upevňovací proces musí být k dispozici speciální nástroj (matrice),



odpovídající příslušnému elementu a typu a tloušťce materiálu, na který se element připevňuje.



Obr. 13 PROFIL – příklady elementů [10]

### 3.1.4 Richard Bergner Holding GmbH & Co. KG

Produkty německé firmy se značkou RIBE<sup>®</sup>, viz Obr. 14, zabývající se vývojem a výrobou mechanických spojovacích elementů, technických pružin a elektro armatur, jsou známy po celém světě v automobilovém průmyslu, medicínské technice a výrobě strojů. Různé geometrie šroubů pro různé materiály pokrývají široký segment spojovacích možností. Mimo vývoje spojovacích elementů sestavuje firma i výrobní zařízení, které je speciálně vyvinuto pro osazování jejich produktů.



Obr. 14 RIBE<sup>®</sup> - produkty [11]

## 3.2 Technologie montáže funkčních prvků

I přes existenci velkého počtu funkčních elementů je lze rozlišit na čtyři základní podle metody osazování:

- Klinčovací elementy, které deformují spojovací díly
- Prostřihávací elementy, které si prostřihávají otvor
- Elementy do otvoru, tyto jsou zavedeny do předem vytvořeného otvoru
- Nýtovací elementy, které se zachytávají do předem vytvořeného otvoru

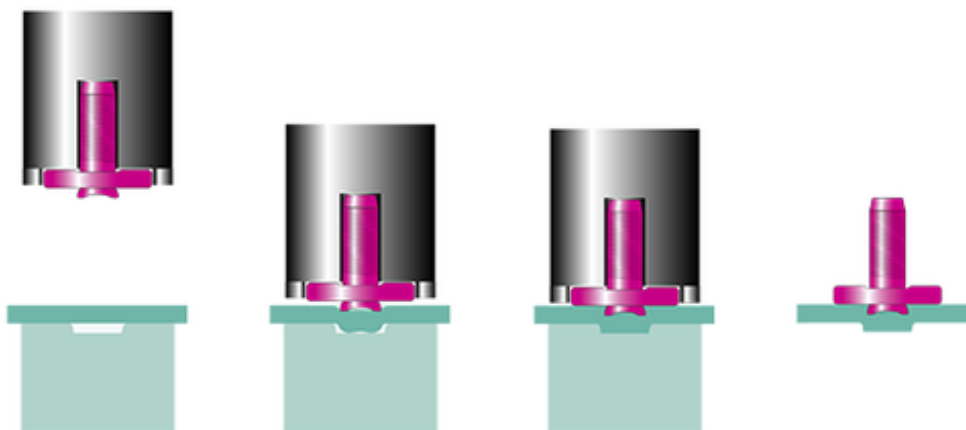
Funkční elementy testované v rámci diplomové práce patří do skupiny prostřihovacích elementů uvedené v kapitole 3.2.2.

### 3.2.1 Klinčovací elementy

**Kategorie procesu:** Proces bez předběžného děrování

**Popis procesu:** Prvek je přiložen ke komponentě bez otvorů, do které je pomocí vysokého tlaku zalisován. Dochází k deformaci prvku a vytvoření pevného spoje., viz Obr. 15.

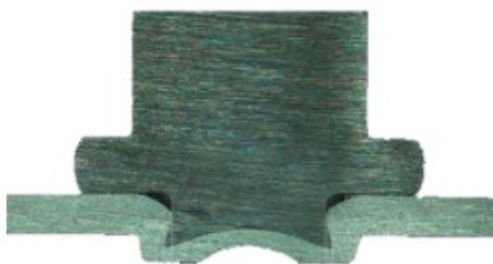
**Upínací/funkční prvky:** klinčovací nýty, klinčovací matice, klinčovací trny



Obr. 15 Klinčovací element - proces lisování [7]

Pro proces klinčování je charakteristická pevná montáž bez nutnosti děrování samotného komponentu. Tento proces je mimořádně vhodný pro práci s trny zalisovanými do dílů se specifickými požadavky na těsnost.

Při montáži funkčního prvku dochází k deformaci a vzniku vrubu mezi prvkem a komponentem, který zobrazuje řez na Obr. 16.



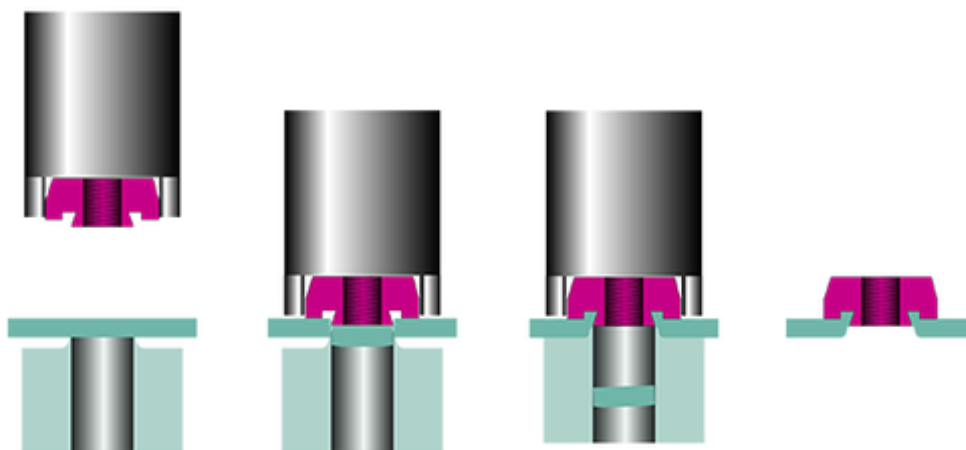
Obr. 16 Broušený řez klinčovaným elementem [7]

### 3.2.2 Prostřihávací elementy

**Kategorie procesu:** Proces bez předběžného děrování

**Popis procesu:** Funkční prvky prorazí díly bez otvorů. Průnikem materiálu do prvku vznikne pevný spoj odolný vůči protáčení a vytlačení, viz Obr. 17.

**Upínací/funkční prvky:** Děrovací trny, děrovací matice, prostřihávací matice



Obr. 17 Prostřihávací element - proces lisování [7]

Během děrování jsou funkční prvky zalisovány do dílu nebo komponenty bez otvorů. Pevná montáž a ochrana proti protáčení a vytlačení je zajištěna bočním průnikem do děrované oblasti materiálu, viz řez na Obr. 18



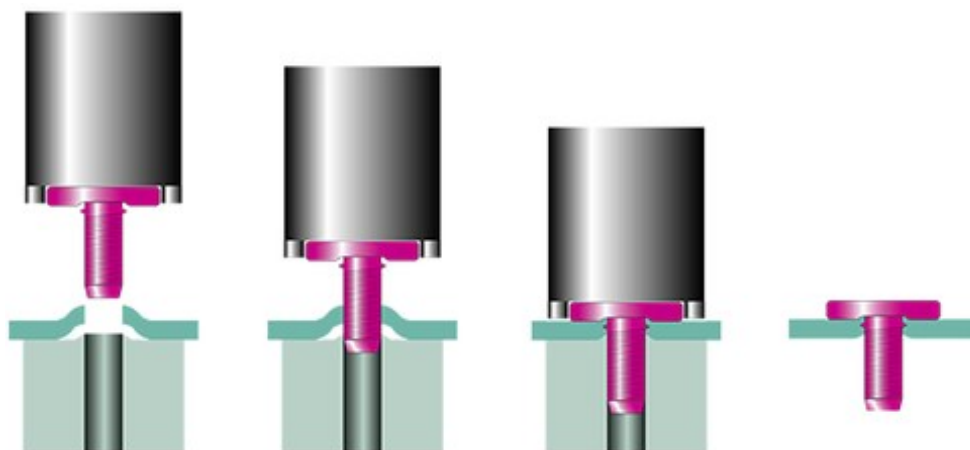
Obr. 18 Broušený řez prostřihávacím elementem [7]

### 3.2.3 Elementy do otvoru

**Kategorie procesu:** Proces s předchozím děrováním

**Popis procesu:** Funkční prvek je zalisován do předběžně děrované a tvářené komponenty. Materiál pronikne za prvek a zajistí pevný a bezpečný spoj, viz Obr. 19.

**Upínací/funkční prvky:** Lisovací trny, lisovací matice, klinčovací trny, klinčovací prvky



Obr. 19 Element do otvoru - proces lisování [7]

Pro tento proces je charakteristická deformace komponentu do spodní části funkčního prvku, viz Obr. 20. Rozlišují se dva druhy funkčních prvků: prvky zalisované do předem děrovaných komponent a prvky zalisované do dílů bez předchozího děrování. Funkční prvky mohou, ale nemusí umožňovat předběžné děrování.



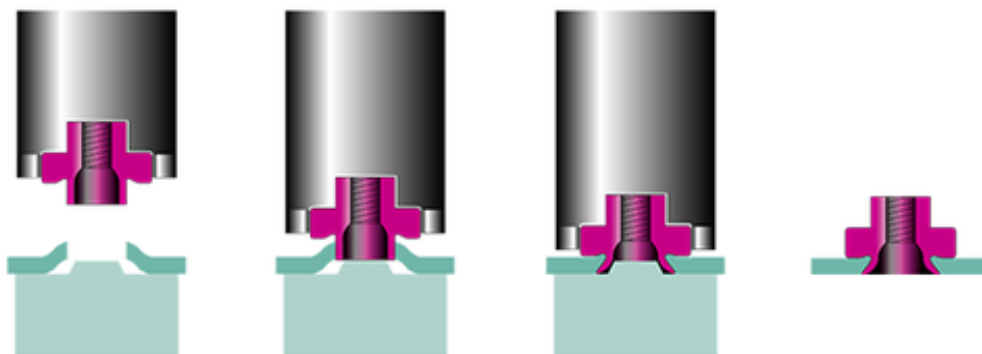
Obr. 20 Broušený řez zalisování elementu do otvoru [7]

### 3.2.4 Nýtovací elementy

**Kategorie procesu:** Proces s předběžným děrováním

**Popis procesu:** Prvek pronikne do předběžně děrované komponenty. Dojde k deformaci a vytvoření pevného spoje, viz Obr. 21.

**Upínací/funkční prvky:** Nýtovací trny, nýtovací matice, nýtovací upínače



Obr. 21 Nýtovací element - proces lisování [7]

Během nýtování dochází k deformaci komponenty a/nebo funkčního prvku, čímž je zajištěna pevná montáž dílu, viz Obr. 22. Tento proces je mimořádně vhodný pro funkční prvky, které se lisují do předem děrovaných dílů nebo jsou prostřihovací.



Obr. 22 Broušený řez nýtovacím elementem [7]

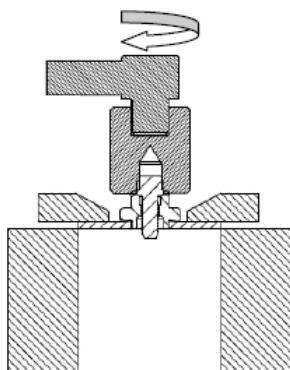
### 3.3 Zkoušky funkčních prvků

Pevnostní vlastnosti osazení zkoušených funkčních prvků byly ověřovány podle popisu a požadavků normy vydané zákazníkem JLR [12], která platí pro spoje mechanicky upevněné na plošných materiálech. Tato norma popisuje průběh zkoušky točivého momentu a zkoušky síly odporu proti vylisování prvku, v bodech 3.3.1 a 3.3.2 jsou uvedeny požadované minimální hodnoty pro výsledky prováděných zkoušek prvků.

Dále bylo přihlédnuto, při provádění zkoušek, k věstníku DVS – německé asociace pro svařování a související metody [13].

#### 3.3.1 Zkoušky točivého momentu

Funkční prvek, matice, je zalisován do zkušební vzorku plechu, hliníkový plech. Vzorek s prvkem je pevně upevněn do přípravku, aby se zabránilo pootočení. Dále probíhá vlastní zkouška a výsledek je zaznamenán, viz Obr. 23.



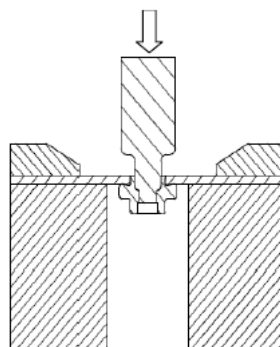
Obr. 23 Zkouška zalisované matice [12]

Požadované minimální hodnoty [12]:

- pro M6 – 12 Nm
- pro M10 – 56 Nm

#### 3.3.2 Zkouška síly vylisování

Zkouška se provádí z důvodu zjištění nosnosti spoje v axiálním směru. Po vložení šroubu do zkušební matice a je aplikována síla v axiálním směru, která je zaznamenána, viz Obr. 24.



Obr. 24 Zkouška síly pro vylisování [12]

Požadované minimální hodnoty [12]:

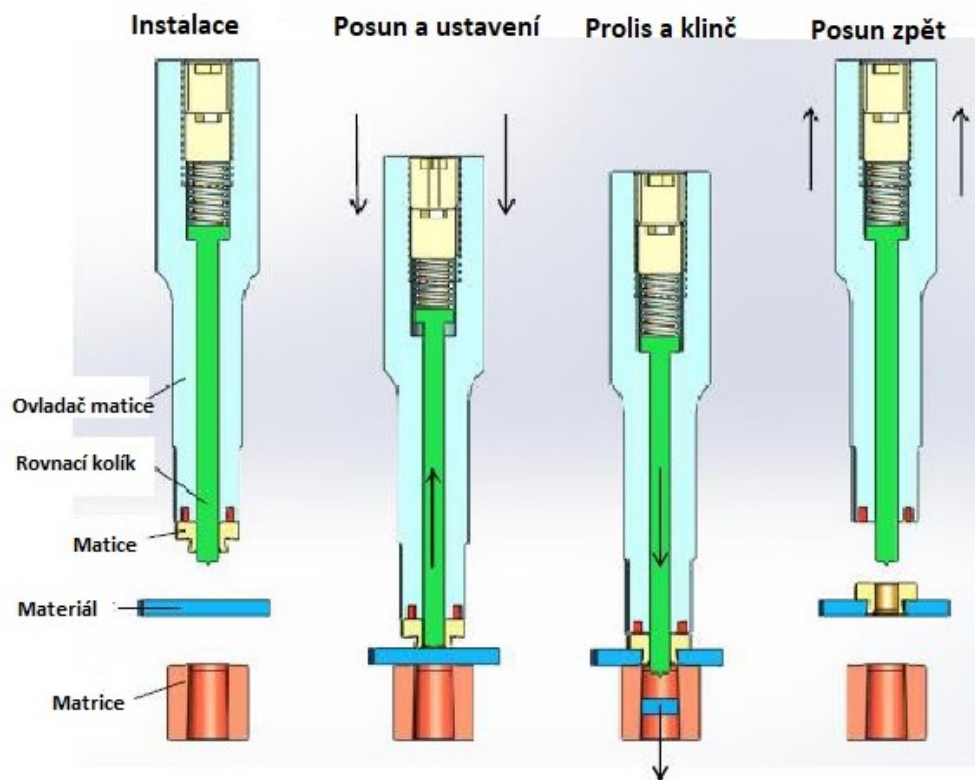
- Matice – 2 kN pro tloušťky plechu nad 1 mm

### 3.4 Lisovací proces funkčních prostřihávacích prvků

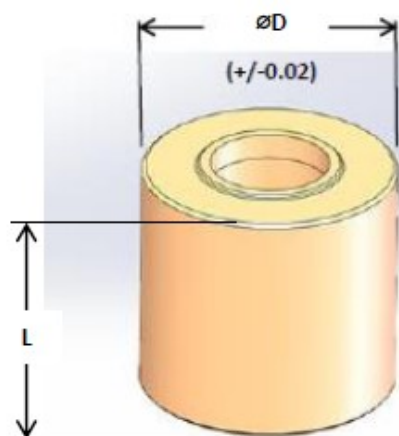
Proces osazení (zalisování) matic je jednoduchý mechanický proces, který zahrnuje matici a sílu pro zalisování matice do materiálu.

Popis jednotlivých fází lisovacího procesu, viz Obr. 25:

<b>Instalace</b>	Osazení matice na rovnací kolík a ovladač matice, ovladač matice ve výchozí poloze
<b>Posun a ustavení</b>	Ovladač matice se posune směrem k plošnému materiálu, ovladač matice se vytahuje a zajišťuje napětí na prolisovaný materiál.
<b>Prolis a klinč</b>	S aplikovanou lisovací silou prolisuje matice materiál, který má být vystřižen a tento materiál je zatlačován rovnacím kolíkem do kužele matrice, schéma matrice na Obr. 26. Anti-rotační drážky matice jsou zatlačeny do materiálu.
<b>Posun zpět</b>	Posledním krokem je posun zpět a uvolnění materiálu se zalisovanou maticí.



Obr. 25 Lisovací proces funkčního prvku [14]



Obr. 26 Schéma matrice a matice s anti-rotacevními drážkami [14]



## 4 CÍL A METODIKA PRÁCE

### 4.1 Cíl práce

Diplomová práce se zabývá technologickým testem a analýzou nástrojů pro zalisování lisovacích matic firmy RB&W Corporation. Matice M6 x 1.0 x 2,2 - 51 1C 059C 23, Příloha A, a matice M10 x 1.5 x 5.25 - 51 3N 049C 20, Příloha B, vlastní matice viz Obr. 27, jsou zalisovány do plošného materiálu AlMg3 tloušťky 2,5 mm a 5,25 mm.



Obr. 27 Použité matice M6 a M10

Nástroje (matrice) popsány v kapitole 4.4, použité pro zalisování matic mají čtyři různé výšky lisovacího kroužku a zalisování je provedeno různými velikostmi lisovacích sil. Získané výsledky se mohou posoudit z různých hledisek, případně je možné provést interpolaci pro jiné typy matic.

Zalisované matice jsou zkoušeny na velikost točivého momentu a síly vylisování, minimální velikosti těchto kvalitativních parametrů jsou předepsány zákazníkem, viz hodnoty uvedené v kapitole 3.3. Pro lepší analýzu spojení matice s materiálem byly zhotoveny broušené řezy zalisovaných matic, které se nacházejí v kapitole 6.

Cílem práce je vyhodnotit a navrhnout nejvhodnější typ matrice s příslušnou lisovací silou. Rovněž se předpokládá, že výsledky budou mít i ekonomický dopad na celý proces lisování.

## 4.2 Metodika

Plán postupu práce byl vyhotoven po vyhodnocení zákaznického požadavku. Po provedení lisovacích zkoušek, pro jednotlivé typy matic, byly výsledky zanalyzovány a vyhodnocena nejvhodnější varianta nástroje (matrice) v závislosti na lisovací síle.

### 4.2.1 Plán práce

Po zadání požadavku zákazníkem byl vyhotoven plán postupu práce:

1. Upřesnění zadání, volba materiálů, průměrů a typu matic, požadavky na kvalitu zalisování (velikost točivého momentu, síly vylisování).
2. Volba lisovacích nástrojů, matic, výšek lisovacího kroužku. Výroba matic.
3. Teoretický výpočet sil. Návrh lisovacích sil pro jednotlivé průměry matic.
4. Vlastní provedení vzorků, po 10 kusech pro jednotlivé matrice a lisovací síly.
5. Zkoušky provedených vzorků, točivý moment, síla vylisování a broušené řezy.
6. Vyhodnocení zkoušek a návrh nejvhodnějšího typu nástrojů a lisovací síly.

### 4.2.2 Zkušební materiál

Vzhledem k zákaznickému požadavku byl použit materiál AlMg3 tloušťky 2,5 mm pro M6 a 5,25 mm pro M10. Mechanické vlastnosti materiálu viz Obr. 29.

Dodaný plošný materiál byl nastříhán na rozměry 80 x 80 mm, tento rozměr vyhovuje upínacím rozměrům zkušebních strojů pro měření točivého momentu a lisu pro vylisování elementu. Příklad zhotovených vzorků M10 viz Obr. 28.



Obr. 28 Vzorky M10 pro zkoušky točivého momentu

EN AW -	Specifikovaná tloušťka mm		Pevnost v tahu N/mm <sup>2</sup>		0,2% mez kluzu N/mm <sup>2</sup>	Tažnost min. %		Poloměr oblouku (zakřivení) <sup>1)</sup>		Tvrdost <sup>1)</sup> HBS
	nad	do	min.	max.		50mm	A	180°	90°	
5754 O/H111	0,2	0,5	190	240	80	12		0,5 t	0 t	52
	0,5	1,5	190	240	80	14		0,5 t	0,5 t	52
	1,5	3,0	190	240	80	16		1,0 t	1,0 t	52
	3,0	6,0	190	240	80	18		1,0	1,0	52
	6,0	12,5	190	240	80	18			2,0 t	52
	12,5	100	190	240	80		17			52
5754 H12	0,2	0,5	220	270	170	4				63
	0,5	1,5	220	270	170	5				63
	1,5	3,0	220	270	170	6				63
	3,0	6,0	220	270	170	7				63
	6,0	12,5	220	270	170	9				63
	12,5	40,0	220	270	170		9			63
5754 H22	0,2	0,5	220	270	130	7		1,5 t	0,5 t	63
	0,5	1,5	220	270	130	8		1,5 t	1,0 t	63
	1,5	3,0	220	270	130	10		2,0 t	1,5 t	63
	3,0	6,0	220	270	130	11			1,5 t	63
	6,0	12,5	220	270	130	10			2,5 t	63
	12,5	40,0	220	270	130		9			63

Obr. 29 Mechanické vlastnosti EN AW-5754 podle EN 485-2 [15]

### 4.3 Použité přístroje

Veškeré zkoušky probíhaly na přístrojích v laboratoři firmy TOX<sup>®</sup> PRESSOTECHNIK GmbH & Co. KG, v jejím hlavním sídle v německém Weingartenu na následujících strojích a zařízeních.

Lis TOX CEU 020.001, viz Obr. 30

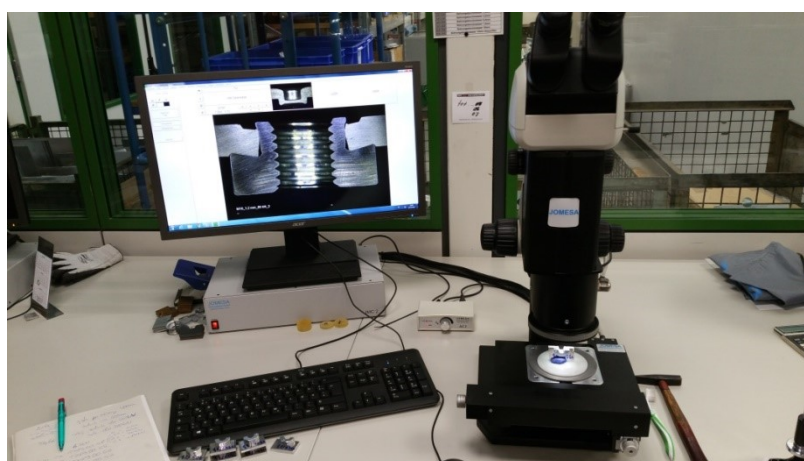
Lisovací stroj se servo pohonem TOX EPMK 200, s lisovací lisou do 200 kN. Řídící TOX Software, který umožňuje mimo ovládání pohonu i průběžné monitorování lisovacích dat (lisovací síla a dráha), ukládání dat jednotlivých procesů pro pozdější vyhodnocení



Obr. 30 Lis TOX CEU 020.001

Digitální mikroskop - JOMESA HFD, viz Obr 31

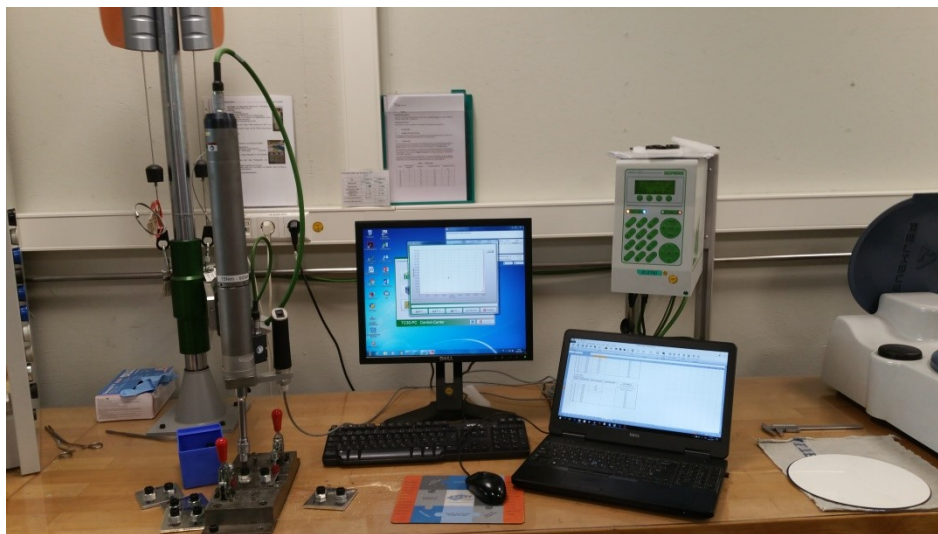
Digitální mikroskop se používá při zhotovování broušených řezů jednotlivých elementů.



Obr. 31 Digitální mikroskop JOMESA HFD

#### Měření točivého momentu – DEPRAG AST 30, viz Obr. 32

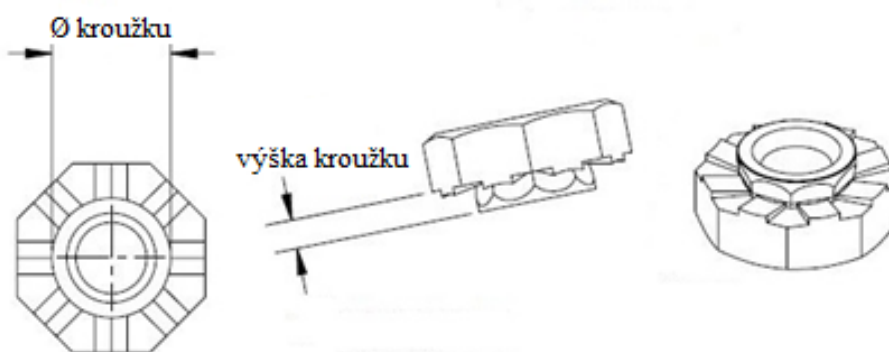
Maximální měřená hodnota 90 Nm, při hodnotách větších než 90 Nm byl použit manuální momentový klíč.



Obr. 32 DEPRAG AST 30

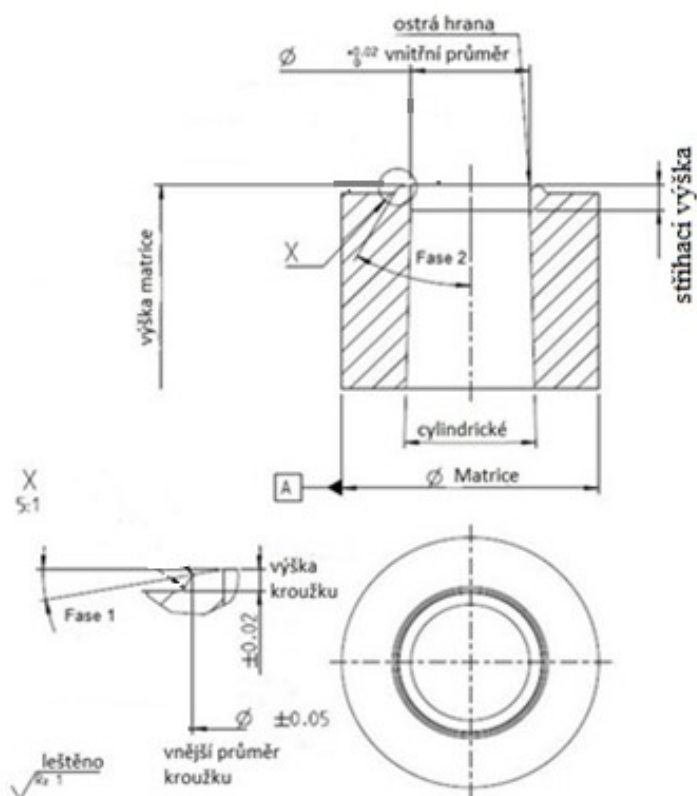
## 4.4 Lisovací nástroje - matrice

Jako lisovací nástroj pro zalisování matic jsou používány matrice s parametry uvedenými v Tabulce 1 a Tabulce 2. Základní rozměrové parametry matic vycházejí z požadavků výrobce matic (prvků) a jsou určeny podle velikostí jednotlivých matic (použitých prvků), viz Obr. 33, a liší se pro potřeby testování pouze v rozměru výšky kroužku na lisovacím a stříhacím prvku, viz Obr. 34.



Obr. 33 Popis matice





Obr. 34 Parametry matrice pro zalisování matic

Tabulka 1 -TOX<sup>®</sup> kontury matrice pro matici RB&W M6

Ø kroužku prvku							
9,12 - 9,42	Výška kroužku matrice [mm]	Vnitřní Ø kroužku [mm]	Vnější Ø kroužku Ø [mm]	Fase 1 [ ° ]	Fase 2 [ ° ]	Stříhací výška [mm]	Vnitřní Ø matrice [mm]
[mm]	0,6	9,5	12,2	10	30	2,0	10
	0,8	9,5	12,2	10	30	2,0	10
	1,0	9,5	12,2	10	30	2,0	10
	1,2	9,5	12,2	10	30	2,0	10

Tabulka 2 TOX<sup>®</sup> kontury matrice pro matici RB&W M10

Ø kroužku prvku							
14,58 - 14,88	Výška kroužku matrice [mm]	Vnitřní Ø kroužku [mm]	Vnější Ø kroužku Ø [mm]	Fase 1 [ ° ]	Fase 2 [ ° ]	Stříhací výška [mm]	Vnitřní Ø matrice [mm]
[mm]	0,6	15,0	18,8	10	30	2,0	17
	0,8	15,0	18,8	10	30	2,0	17
	1,0	15,0	18,8	10	30	2,0	17
	1,2	15,0	18,8	10	30	2,0	17

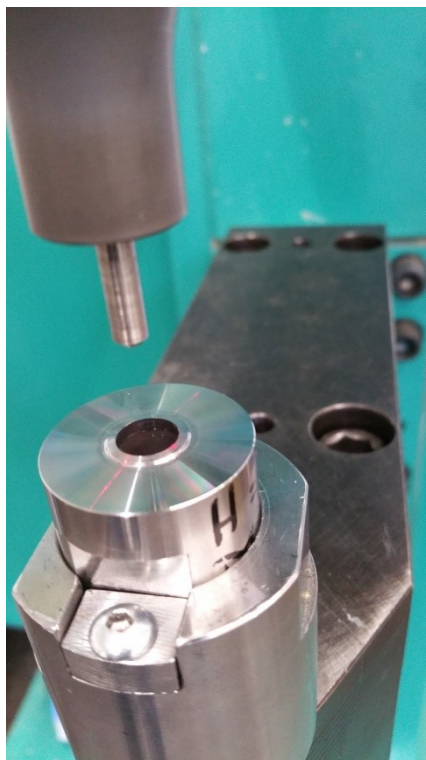
Pro zkoušky byly zvoleny výšky kroužku matrice 0,6; 0,8; 1,0 a 1,2 mm, na Obr. 35 zobrazena sada matic pro matici M6

Horní díl, upevňující matici, je rovněž zhotoven podle požadavků a parametrů dodaných a doporučených výrobcem matic.



Obr. 35 Matrice pro matici M6

Obr. 36 ukazuje matici pro matici M6 a horní upevňovací díl a rovnací kolík na lisu, na kterém byly zkoušky prováděny.



Obr. 36 Matrice a upevňovací díl matice

## 4.5 Kvalitativní požadavky na provedené zalisování matic

Zalisované matice musí splňovat následující pevnostní požadavky předepsané zákazníkem JLR:

Požadované minimální hodnoty točivého momentu [12]:

- pro M6 – 12 Nm
- pro M10 – 56 Nm

Požadované minimální hodnoty síly pro vylisování matice [12]:

- Matice – 2.000 N pro tloušťky plechu nad 1 mm



## 5 TEST A ANALÝZA PRVKŮ A NÁSTROJŮ

Pro každou variantu provedení matrice jsem zvolil různé velikosti lisovacích sil, tyto zkoušky jsem prováděl vždy na vzorku 10 ks matic pro obě velikosti M6 a M10. Vlastní volba lisovacích sil vycházela z předchozích orientačních zkoušek zalisování.

Kompletní přehled výsledků zkoušek, všech variant matrice a lisovací síly pro jednotlivé matice, je uveden v Tabulce 3 (matice M6) a v Tabulce 4 (matice M10).

### 5.1 Matice M6 x 1,0 x 2,2 - 51 1C 059C 23

#### 5.1.1 Lisovací síly

Velikosti lisovacích sil pro jednotlivé typy matic jsem zvolil 30 kN, 40 kN, 50 kN a 60 kN.

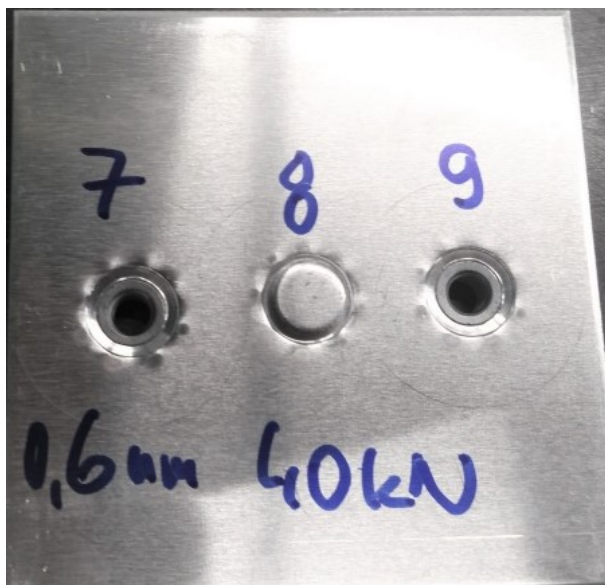
Při velikosti lisovací síly 60 kN byl již materiál velmi deformován, z toho důvodu nebyla tato síla dále použita pro další vzorky. Obzvláště se tato deformace materiálu projevovala při nižší výšce kroužku 0,6 mm a 0,8 mm, viz Obr 37.



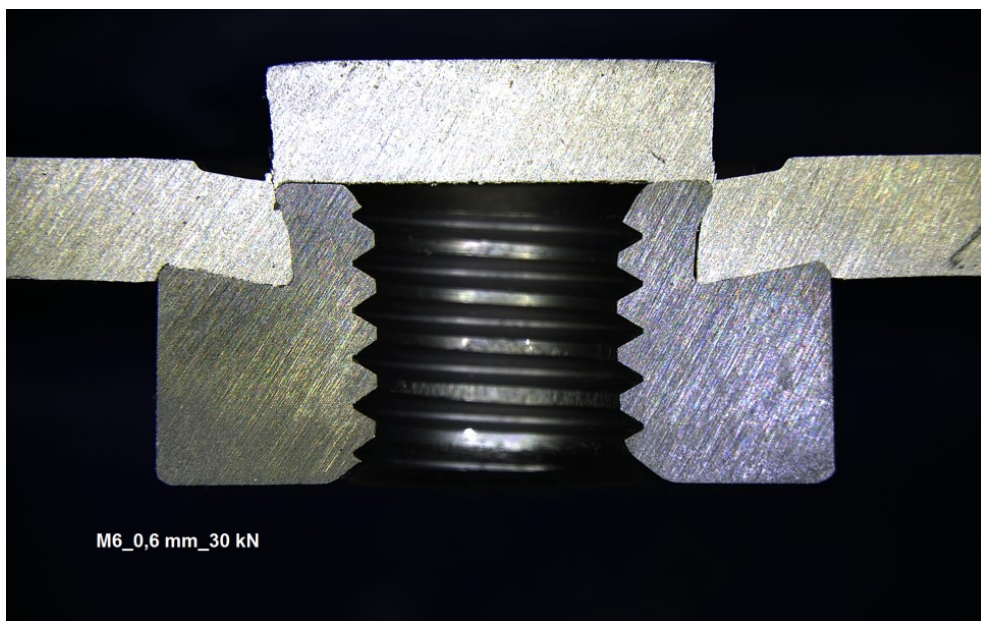
Obr. 37 Vzorky s lisovací silou 60 kN – deformace materiálu

V případě lisovací síly 20 kN, tato zkouška byla provedena pouze pro orientaci, nebylo provedeno dostatečné prostřihnutí materiálu matricí a kulatý výstřížek materiálu se neodstříhl a zůstal na materiálu.

Tento jev neprostřihnutí materiálu se rovněž ukázal i v dalších případech např. při nižší výšce kroužku matrice 0,6 mm a lisovací síle 30 kN a 40 kN, viz Obr. 38 a broušený řez na Obr. 39.



Obr. 38 Neprostřihnutí materiálu na vzorku



Obr. 39 Broušený řez neprostřihnutým vzorkem - M6, 30 kN, 0,6 mm

Bylo nutné provést ještě nastavení pružiny rovnacího kolíku, aby docházelo k protlačení prostříženého kroužku maticí a nezůstával v horní části matrice, viz Obr. 40. Toto se provádí zvětšením síly pružiny rovnacího kolíku v těle ovladače matice. V praxi bude důležité si na toto nastavení dát pozor a obzvláště na to, kam bude tento prostřížený odpad padat, aby nezpůsobil případné technologické problémy. Při provádění těchto zkoušek se ovšem jednalo o marginální problém.



Obr. 40 Prostřížený materiál v matici

#### Analýza lisovacího procesu

Lisovací proces je zobrazen na Obr. 41, v tomto konkrétním případě se jedná o Matici M6, celkovou lisovací sílu 30 kN a výšku kroužku matrice 1,0 mm. Tento proces ze softwaru lisovacího servo pohonu ukazuje na ose X lisovací sílu v kN a na ose Y lisovací dráhu v mm.

V okamžiku dosednutí matice na plech ve výšce 113,6 mm dochází k nárůstu síly z 0 kN až do maxima 11 kN na hloubce zalisování 114,3 mm, tj. po 0,7 mm, tato dráha při lisovací síle 11 kN je dlouhá 0,3 mm. Síla 11 kN je minimální skutečná nutná síla, při které matice prostřihává materiál, dále již lisovací síla (odpor materiálu) klesá na 2 kN do hloubky 115 mm, tato dráha (113,6 až 115,5 mm) odpovídá minimální výšce kóty

matice 1,9 mm. Od dráhy 115,5 mm až po 116,5 mm lisovací síla až po 30 kN lisuje matici do materiálu, opět dráha 1,0 mm odpovídá výšce kroužku matrice. Grafy jednotlivých lisovacích procesů pro další typy vzorků a sil jsou shodné a všude se vyskytuje maximální síla prostřížení 11 kN, liší se pouze v maximální lisovací síle a v konečné hloubce zalisování.

26.09.17 09:26

TOXsoftWare

TOX<sup>®</sup> PRESSOTECHNIK

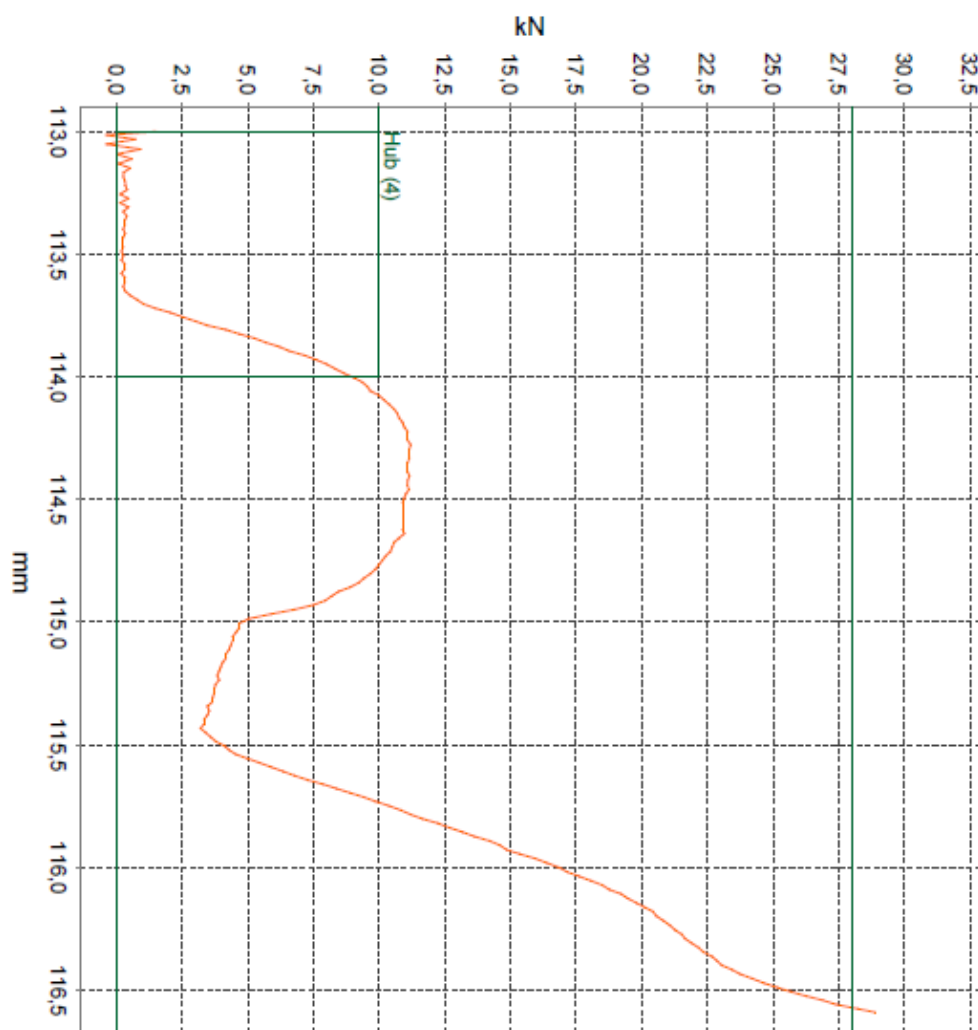
## Report

Servername: localhost:1099/ToxServer

Adaptername: EPzAdapter

### 1. Endwerte

Nr.	Datum	ZW1	max.	Kraft	min.	max.	Weg	min.
Programm	/ Funktion	ZW2	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
Status		EW						
47249	26.09.17 09:22		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
207 17890044.00DE / 5 Einpressen			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kein Fehler (0)			28,89	28,89	-0,39	300,50	116,59	113,01



Obr. 41 Lisovací proces - M6, 30 kN, 1,0 mm

Při silách větších než 40 kN se již do materiálu zalisovala vnější hrana matrice, viz Obr. 42, tento jev by byl jistě pro koncového zákazníka nepříjemný. Proto jsem zvolil jako neoptimálnější lisovací síly 30 kN až 40 kN.



Obr. 42 Vzorek s lisovací silou 50 kN - otisk matrice

### 5.1.2 Střížná síla M6 x 1,0 x 2,2

Střížná síla podle zaznamenaných hodnot softwaru servo pohonu a odečtená na grafu lisovacího procesu, viz Příloha E nebo Obr. 40, se pohybuje okolo 11.000 N.

Střížná síla je při všech procesech stejná a nezávisí na celkové lisovací síle ani typu zvolené matrice, pouze na pevnosti materiálu, jeho tloušťce a délce stříhu.

Pro kontrolu byl proveden, u obou zkoušených matic, výpočet střížné síly a porovnán se skutečností. Tento výpočet se provedl jako informativní, pro případné další jiné projekty zákazníků s jinými funkčními prvky, aby se nemusely vždy provádět praktické zkoušky.

Výpočtová hodnota maximální střížné síly, podle vzorce (2.15):

$$S = L \cdot s = \pi \cdot d \cdot s = \pi \cdot 9,27 \cdot 2,5 = 72,81 \text{ mm}^2$$

L – délka stříhu (obvod stříhající části matrice, použita střední hodnota) [mm],

s – hloubka stříhu (tloušťka stříhaného plechu) [mm]

d – použit aritmetický průměr krajních hodnot 9,27 mm

$$R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m = 0,8 \cdot 215 = 160 \text{ MPa}$$

$R_{ms}$  – pevnost materiálu ve stříhu

$R_m$  – zvoleno 200 MPa

$$F_{max} = S \cdot R_{ms} \cdot k = 72,81 \cdot 160 \cdot 1,25 = \underline{14.562 \text{ N}}$$

$F_{max}$  – střížná síla maximální, nejvyšší hodnota této síly v průběhu operace

$k$  – zvoleno 1,25

Střížná práce

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot F_{max} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot 14.562 \cdot \frac{2,5}{2} = 28.592 \text{ J}$$

$h$  – hloubka vniknutí pohyblivé střížné hrany do materiálu do okamžiku porušení (plastický stříh) [mm]

Výpočtová hodnota střížná síle je vyšší o 3.500 N, tj. o cca 30 %, ve srovnání se skutečnou hodnotou síly prostříhu 11.000 N.

Tato zvýšená hodnota je částečně způsobena použitými koeficienty ve vzorcích, skutečnou pevností použitého materiálu a tolerancemi matic. Prokázalo se, že tyto zkoušky je jistě vhodné provádět, z důvodu zjištění skutečné hodnoty lisovacích sil pro konkrétní zvolený materiál.

Pokud bychom uvažovali, v tomto případě, výpočtovou hodnotu střížné síly, bude tato určitě zahrnovat i předpokládané navýšení skutečné hodnoty, které se v praxi provádí z důvodu pokrytí nepředvídaných vlivů (materiálové tolerance, opotřebení nástrojů apod.).

### 5.1.3 Výsledky pevnostních zkoušek M6 x 1,0 x 2,2

Kompletní výsledky zkoušek točivého momentu a síly pro vylisování prvku pro matici M6 x 1,0 x 2,2 všech 240 vzorků jsou uvedeny v Tabulce 3.



Tabulka 3 Výsledky zkoušek matice M6 x 1,0 x 2,2

Lisovací síla [kN]	Výška kroužku							
	0,6 mm		0,8 mm		1,0 mm		1,2 mm	
	Točivý moment [Nm]	Síla vylisování [N]	Točivý moment [Nm]	Síla vylisování [N]	Točivý moment [Nm]	Síla vylisování [N]	Točivý moment [Nm]	Síla vylisování [N]
30	21,7	2950	22,53	3050	26,83	3100	22,86	2900
	27,7	3100	24,1	3070	23,51	3010	22,6	3140
	22,53	3260	21,82	3040	22,21	3120	21,95	2900
	23,38	2830	21,43	3120	22,14	3180	22,6	3190
	23,18	3260	22,99	3070	22,92	2930	23,97	2970
	22,47	3050	22,14	3110	22,14	3190	22,21	2980
	22,14	2930	21,62	3030	27,48	3140	22,99	3220
	22,79	3160	20,9	3220	22,86	3380	22,47	3170
	22,34	3120	21,95	3140	22,21	3040	23,4	3020
	22,92	3070	21,88	3090	22,4	2980	21,36	2910
40	22,21	3460	22,34	3630	28,13	3620	22,27	3580
	23,77	3390	22,6	3470	21,82	3560	22,27	3520
	21,88	3510	27,48	3490	20,9	3710	21,62	3690
	21,95	3430	22,4	3530	27,12	3640	22,53	3470
	22,66	3440	21,43	3570	22,21	3650	27,09	3760
	28,39	3440	23,05	3610	22,21	3450	22,34	3440
	23,58	3500	22,27	3480	21,88	3510	22,53	3540
	22,4	3400	22,01	3420	22,86	3550	22,14	3540
	23,25	3640	27,16	3560	22,86	3600	21,95	3620
	23,12	3440	27,94	3710	22,92	3530	22,4	3460
50	26,83	3490	23,84	3680	21,95	3630	23,77	3790
	22,73	3410	23,51	3610	21,62	3660	26,77	3770
	22,14	3370	23,18	3610	22,53	3370	23,51	3890
	22,4	3560	22,79	3640	23,18	3790	22,47	3560
	22,53	3560	23,51	3780	20,77	3640	22,79	3760
	21,69	3520	23,51	3540	22,34	3450	21,36	3870
	27,55	3570	26,44	3670	22,53	3520	23,58	3650
	21,69	3500	26,57	3560	28,85	3570	22,92	3610
	22,08	3310	23,18	3470	23,38	3620	21,88	3610
	27,35	3490	27,48	3540	27,42	3480	21,17	3550

Točivý moment:

Minimální požadovaná hodnota točivý momentu pro matici M6 je 12 Nm.

Změřené hodnoty jsou překročeny ve všech zkoušených variantách o 70 %.

Při provádění těchto zkoušek se protáčet zkoušený šroub v matici, ale vlastní matice zůstávala pevně zalisována, oproti zkouškám matice M10, viz bod 5.2.3.

#### Síla pro vylisování matice:

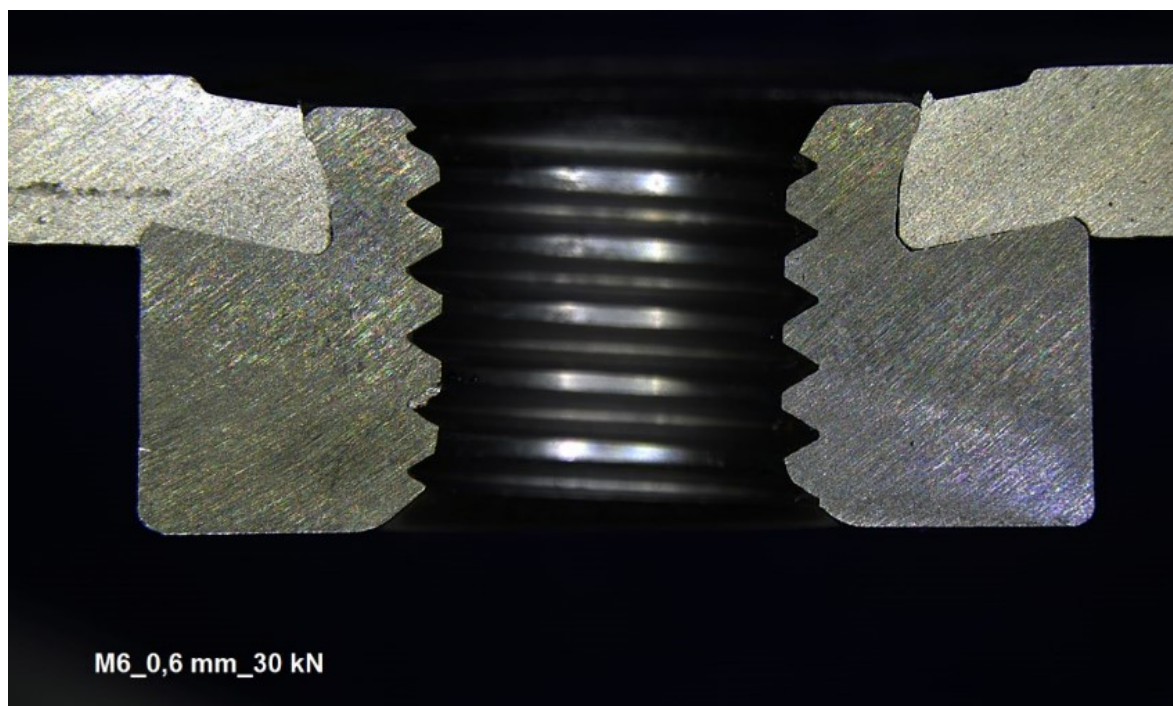
Minimální požadovaná hodnota síly pro vylisování matice pro tloušťky plechu nad 1 mm je 2.000 N.

Změřené hodnoty požadované zákazníkem jsou překročeny ve všech zkoušených variantách o 50 %, viz Tabulka 3. Příklad protokolu o zkoušce vylisování matice M6, lisovací síly 30 kN a výšce kroužku 1,0 mm viz Příloha C.

#### **5.1.4 Broušené řezy lisovacích prvků M6 x 1,0 x 2,2**

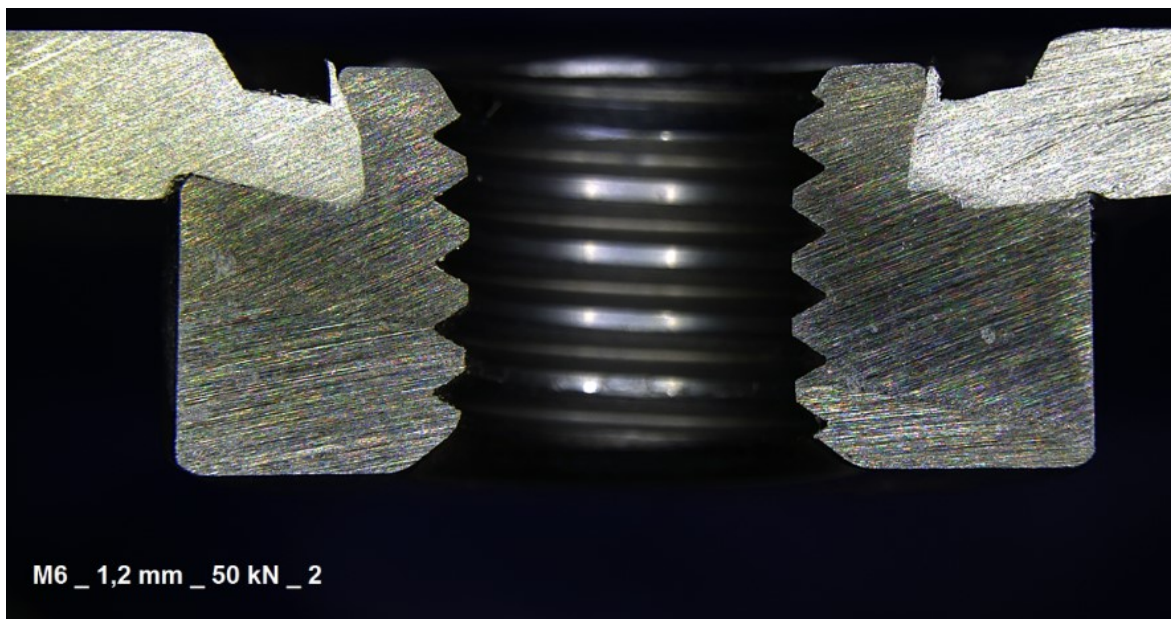
Pro lepší posouzení jednotlivých variant matric a lisovacích sil jsem provedl u každé varianty dva broušené řezy zalisovaného prvku.

Srovnání broušeného řezu matice s matricí nejmenší výšky kroužku 0,6 mm a nejmenší lisovací síly 30 kN a s matricí s výškou kroužku 1,2 mm a lisovací síly 50 kN je možné vidět na Obr. 43 a Obr. 44. Pevnostní charakteristiky se zvětšily u točivého momentu o cca 1 Nm, což je asi 5 %, a u síly vylisování o cca 500 N, což je cca o 15 %. Při tomto prvku, matici M6, se ukazuje, že zvětšení lisovací síly a ani lisovacího kroužku matrice není důvodem přílišného zvětšení pevnostních parametrů spoje prvku.



Obr. 43 Broušený řez M6 – 30 kN, 0,6 mm





Obr. 44 Broušený řez M6 – 50 kN, 1,2 mm

## 5.2 Matice M10 x 1,5 x 5,25 - 51 3N O49C 20

### 5.2.1 Lisovací síly M10 x 1,5 x 5,25

Hodnoty lisovací síly pro zkoušky matice M10 byly zvoleny 50 kN, 60 kN, 70 kN, 80 kN, přičemž při lisovací síle 80 kN se na materiálu již ukázal znatelný otisk vnější hrany matrice, viz Obr. 45, a při výšce lisovacího kroužku 1,2 mm byl materiál značně deformován, viz Obr. 46. Síla pod 50 kN by podle výsledků zkoušek již nevyhovovala pro pevnostní požadavky zákazníka, viz hodnoty Tabulka 4 v bodu 5.2.3.



Obr. 45 Otisk hrany matrice na vzorku M10 při lisovací síle 80 kN



Obr. 46 Deformace materiálu při síle zalisování prvku 80 kN

Stejně jako u zkoušek matice M6 bylo nutné zastavit velikost vytlačovací síly pružiny rovního kolíku, aby docházelo k protlačení vystřiženého materiálu do matrice a ten nezůstával na střížné hraně matrice, viz Obr. 47. Ve vlastním výrobním procesu bude nutné provést toto nastavení a dbát na místo kam bude vytvořený odpad padat, případně jej zachytávat, aby nenarušoval další technologické kroky.



Obr. 47 Matrice s prostřihem ve střížné části – M10

## Analýza lisovacího procesu

Proces lisování je zobrazen na Obr. 48, tento graf odpovídá případu matice M10, maximální lisovací síle 60 kN a výšce lisovacího kroužku 1,0 mm. Na ose X se nachází lisovací síla v kN a na ose Y dráha lisování v mm.

23.10.17 14:15

TOXsoftWare

TOX<sup>®</sup> PRESSOTECHNIK

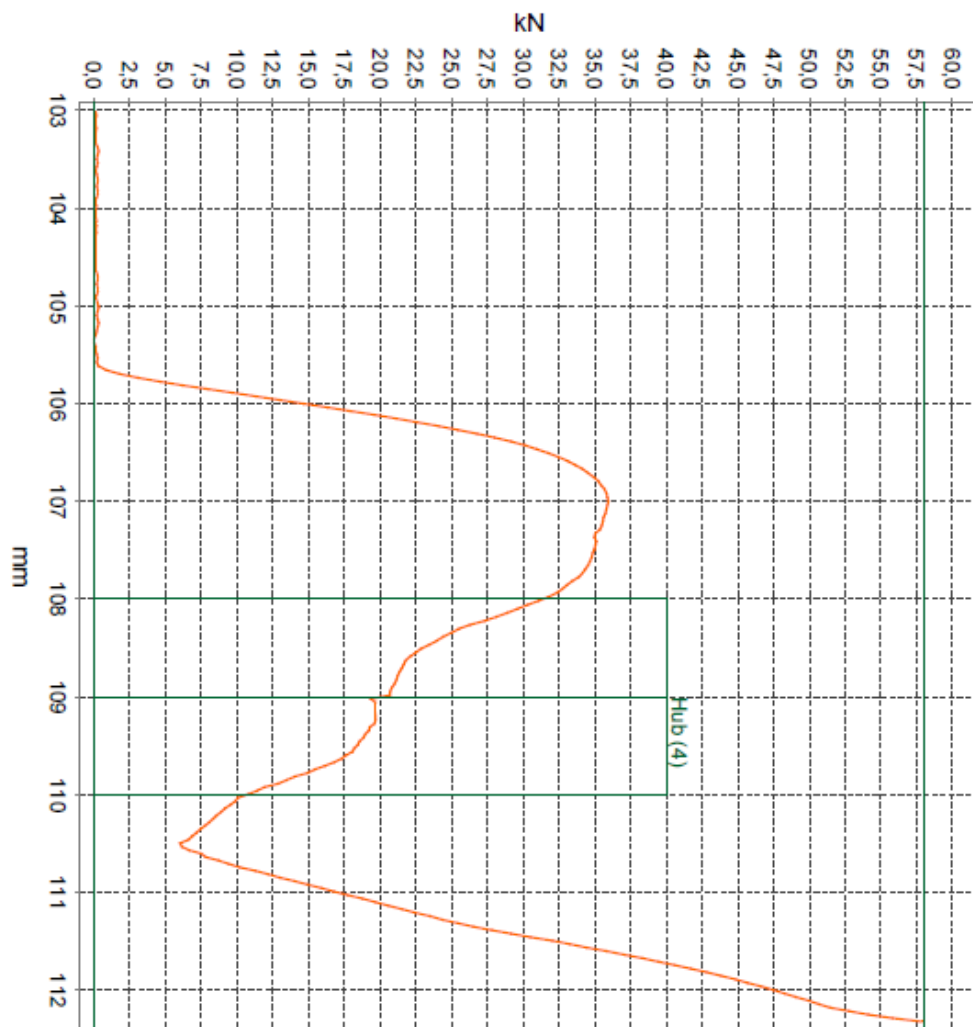
## Report

Servename: localhost:1099/ToxServer

Adaptername: EPzAdapter

### 1. Endwerte

Nr.	Datum	ZW1	max.	Kraft	min.	max.	Weg	min.
Programm	/ Funktion	ZW2	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
Status		EW						
48302	23.10.17 14:12		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
210 17890048.01DE / 5 Einpressen			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kein Fehler (0)			59,90	59,90	5,89	300,50	112,35	110,51

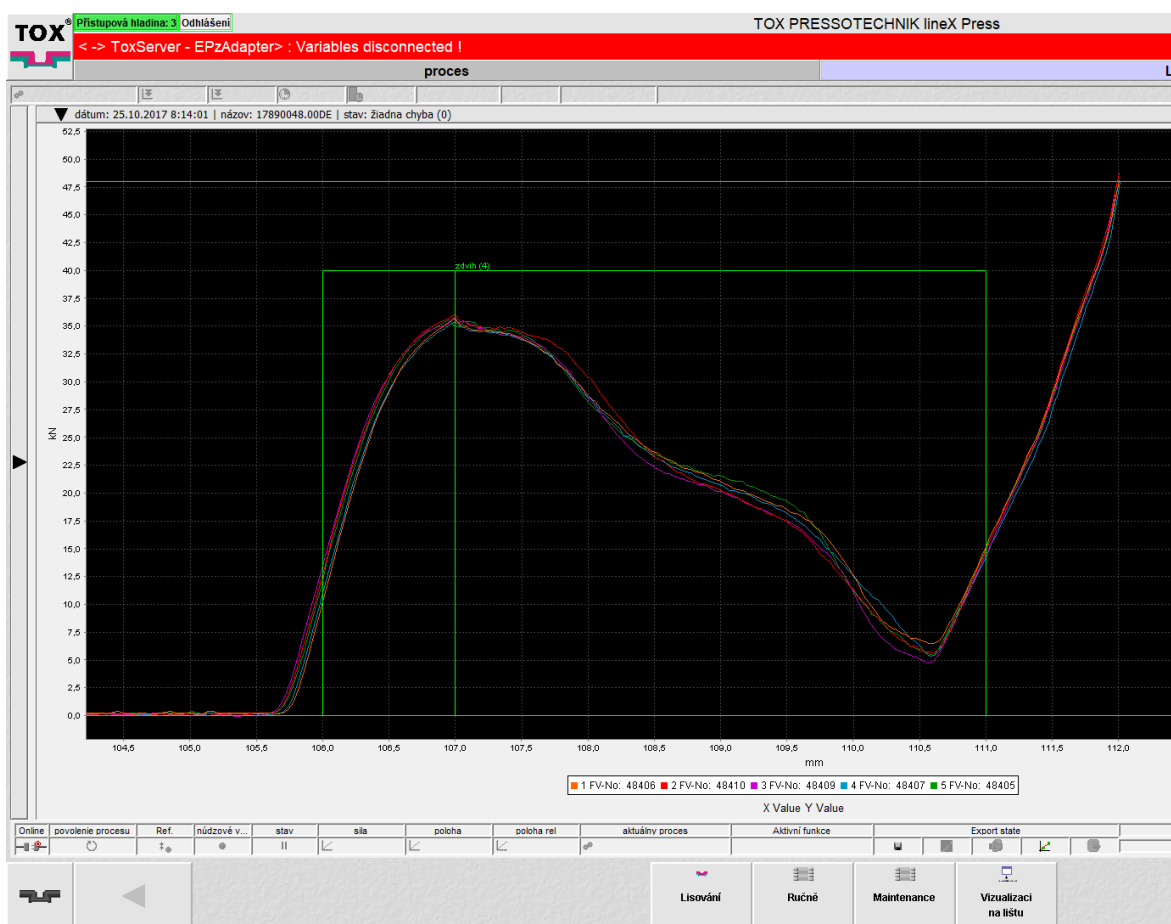


Obr. 48 Graf lisovacího procesu – M10, 60 kN, 1,0 mm

Z grafu lze odečíst celý lisovací proces. Okamžik dosednutí matice na materiál a začátek prostřihu materiálu maticí na kótě (výšce dráhy servo pohonu) 105,8 mm, v této výšce se začíná matice a lisovací kroužek ze strany matrice lisovat do materiálu. Maximální nutná síla prostřihu materiálu je 36 kN, dosažená na dráze 107 mm, tj. v hloubce materiálu 1,5 mm, což odpovídá asi 30 % z celkové tloušťky materiálu, podobně jako u předchozích zkoušek s tloušťkou materiálu 2,5 mm. Od hloubky 107,3 mm až po 110,6 mm lisovací síla (odpor materiálu) klesá. Od hloubky 110,6 se začíná matice lisovat do materiálu až do maximální zadané síly, v tomto případě 60 kN.

Celková dráha po opětovný nárůst lisovací síly, tzn. začátku zalisování matice do materiálu, je po odečtení na grafu 5,25 mm, což odpovídá tloušťce materiálu.

Celkový lisovací proces je, toto je možné vysledovat i u procesů s maticí M6, byl opět shodný ve svém průběhu. Důkazem je Obr. 49, kde je zobrazeno 5 křivek, které jsou vloženy do jednoho grafu. Je zde jasně vidět, že procesy mají ve svém průběhu takřka totožný sled, až na nepatrné odchylky. Tuto funkci umožňuje TOX Software, který řídí lisovací servo pohon.



Obr. 49 5 překrytých lisovacích křivek z TOX Softwaru

### 5.2.2 Střižná síla M10 x 1,5 x 5,25

Střižná síla podle zaznamenaných hodnot softwaru servo pohonu a odečtená na grafu lisovacího procesu se pohybuje okolo 36.000 N.

Střižná síla je opět jako u předchozí matice při všech procesech stejná a nezávisí na celkové lisovací síle ani typu zvolené matrice, pouze na pevnosti materiálu, jeho tloušťce a délce stříhu.

Výpočtová hodnota maximální střižné síly, podle vzorce (2.15):

$$S = L \cdot s = \pi \cdot d \cdot s = \pi \cdot 14,73 \cdot 5,25 = 242,95 \text{ mm}^2$$

L – délka stříhu (obvod stříhající části matice, použita střední hodnota) [mm],

s – hloubka stříhu (tloušťka stříhaného plechu) [mm]

$$R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m = 0,8 \cdot 200 = 160 \text{ MPa}$$

$R_{ms}$  – pevnost materiálu ve stříhu

$$F_{max} = S \cdot R_{ms} \cdot k = 242,95 \cdot 160 \cdot 1,25 = \underline{48.590 \text{ N}}$$

$F_{max}$  – střižná síla maximální, nejvyšší hodnota této síly v průběhu operace

Střižná práce

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot F_{max} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot 48.590 \cdot \frac{5,25}{2} = 200.353 \text{ J}$$

h – hloubka vniknutí pohyblivé střižné hrany do materiálu do okamžiku porušení (plastický stříh) [mm]

Výpočtová střižná síla je vyšší o 12.500 N ve srovnání se skutečnou hodnotou síly prostříhu 36.000 N. Zvýšení je o cca 30 %, což řádově odpovídá zvýšení jako u předchozí zkoušky materiálu 2,5 mm a matice M6.

Výpočtová hodnota střižné síly opět zahrnuje i předpokládané navýšení skutečné hodnoty a cca 20 %, pro zahrnutí předpokládaných vlivů materiálu a opotřebení nástroje.

### 5.2.3 Výsledky pevnostních zkoušek M10 x 1,5 x 5,25

Kompletní výsledky zkoušek točivého momentu a síly pro vylisování prvku pro matici M10 x 1,5 x 5,25 všech 320 vzorků jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tabulka 4 Výsledky zkoušek matice M10 x 1,5 x 5,25

Lisovací síla [kN]	Výška kroužku							
	0,6 mm		0,8 mm		1,0 mm		1,2 mm	
	Točivý moment [Nm]	Síla vylisování [N]	Točivý moment [Nm]	Síla vylisování [N]	Točivý moment [Nm]	Síla vylisování [N]	Točivý moment [Nm]	Síla vylisování [N]
50	56,66	3880	68,9	7090	66,82	6870	73,27	1410
	45,26	4420	71,83	6550	64,6	7480	76,46	7240
	59,07	3780	63,63	5210	73,07	7440	71,57	7060
	56,33	4130	63,82	3080	73,72	6620	68,25	7100
	53,99	4870	76,2	6770	73,33	7800	72,68	6960
	62,58	6800	73,72	6350	70,33	7110	74,76	7470
	63,63	7400	76,07	7250	64,54	8420	71,9	7550
	63,03	4100	72,61	6290	66,82	7400	77,63	7040
	56,01	3100	69,23	6590	70,99	7370	66,49	6290
	63,04	4090	70,14	6120	68,58	8580	74,76	6200
60	61,32	4480	72,48	6970	> 90	9070	100	8860
	73,46	6140	78,02	8160	> 90	8700	100	9720
	80,49	5160	83,95	7340	> 90	9130	100	8510
	64,73	6670	76,91	8510	> 90	9540	100	8680
	62,32	6000	73,07	8140	> 90	8670	100	1490
	60,24	5230	82,06	7590	> 90	8710	100	8690
	66,95	5090	76,07	7770	100	9430	100	9260
	61,87	5560	77,3	7410	100	7810	100	8710
	63,37	5290	78,15	7490	> 90	8860	100	9480
	59,78	5920	82,84	8060	> 90	9790	100	8740
70	67,4	7240	82,77	8240	100	9400	100	10100
	82,19	6170	> 90	9370	100	9950	100	10600
	72,68	5770	83,16	7750	100	10300	100	9890
	80,43	6900	> 90	8100	100	9380	100	10400
	76,39	5950	> 90	8660	100	9420	100	9600
	76,52	6310	75,22	7600	100	9760	100	9720
	66,75	6660	> 90	7600	100	9990	100	9870
	80,82	7390	82,97	8020	100	8900	100	9540
	83,95	6880	> 90	8990	100	3140	100	10600
	72,55	5630	> 90	7620	100	9590	100	10100
80	78,28	7240	> 90	8560	100	9230	100	11200
	84,66	7880	> 90	8250	100	9860	100	10900
	70,92	7780	> 90	8430	100	10700	100	11100
	79,45	8160	> 90	8940	100	9620	100	9600
	73,59	7640	> 90	8900	100	9830	100	10200
	80,62	7970	> 90	8520	100	10200	100	10400
	81,6	8290	> 90	8290	100	10500	100	10100
	73,07	7630	> 90	8570	100	10100	100	5080
	82,38	7810	> 90	8610	100	9450	100	10400
	75,22	7260	> 90	8710	100	10500	100	11100



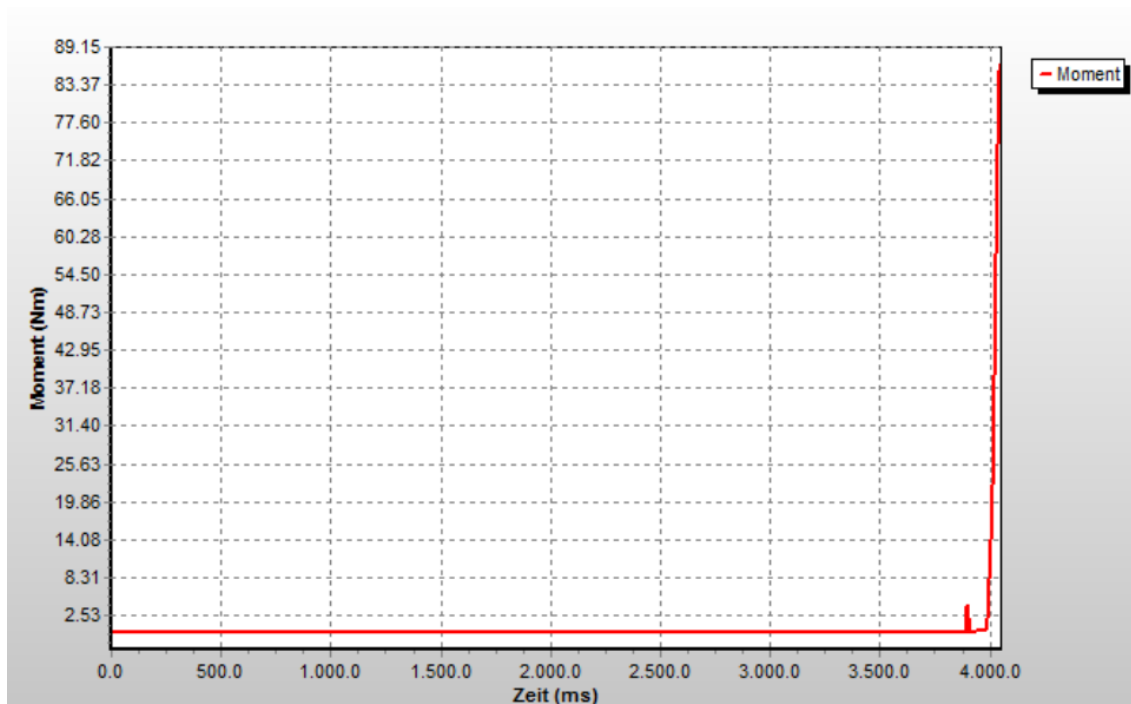
#### Točivý moment:

Minimální požadovaná hodnota točivého momentu pro matici M10 je 56 Nm.

Změřené hodnoty jsou překročeny, až pár výjimek při lisovací síle 50 kN a výšce kroužku 0,6 mm, ve všech zkoušených variantách téměř o 100 %.

Vzhledem k tomu, že přístroj pro měření točivého momentu, viz Obr. 31, měl rozsah měření do 90 Nm a některé vzorky měly moment větší, viz Obr. 50, změřil jsem vzorky, které byly nad maximální rozsah přístroje 90 Nm ručním momentovým klíčem. Proto jsou některé výsledky 100 Nm.

V případě této matice m10 zůstával šroub, kterým se prováděla zkouška v matici a docházelo k uvolnění a otočení celé matice. na rozdíl matice M6, kde docházelo k protočení zkoušeného šroubu.



Obr. 50 Graf zkoušky točivého momentu přesahujícího 90 Nm

#### Síla pro vylišování matice:

Minimální požadovaná hodnota síly pro vylišování matice pro tloušťky plechu nad 1 mm je 2.000 N

Změřené hodnoty požadované zákazníkem byly překročeny ve všech zkoušených variantách minimálně o 50 %, viz Tabulka 4. Protokol o zkoušce síly vylišování matice M10, lisovací síly 60 kN a výšce kroužku 1,0 mm viz Příloha D.

Při zkouškách síly pro vylisování matice M10 se objevily dva vzorky, viz Obr. 51, které se plně rozcházel s ostatními naměřenými výsledky, v Tabulce 4 žlutě označené výsledky sil vylisování 1410 N a 1490 N. Prozkoumáním je vidět na první pohled, že u těchto dvou vzorků nedošlo k dostatečnému zalisování matic do materiálu, chybí znatelný kroužek od matrice, v obou případech výška kroužku matrice 1,2 mm, který je jasně vidět u druhé matice na stejném vzorku. Po analýze lisovacích křivek nebylo možné nic nalézt, ale problém nastal jednoznačně u zalisování prvku.

Opět se ukázalo, že není možné se spoléhat pouze na kontrolu obsluhou zařízení a v praxi bude vhodné doporučit zařízení pro monitorování vlastního procesu, tzn. monitoring vložení prvku, monitoring síly a dráhy procesu, aby se účelně předešlo těmto problémům.



Obr. 51 Vzorky se špatnými výsledky sil vylisování

#### 5.2.4 Broušené řezy lisovacích prvků M10 x 1,5 x 5,25

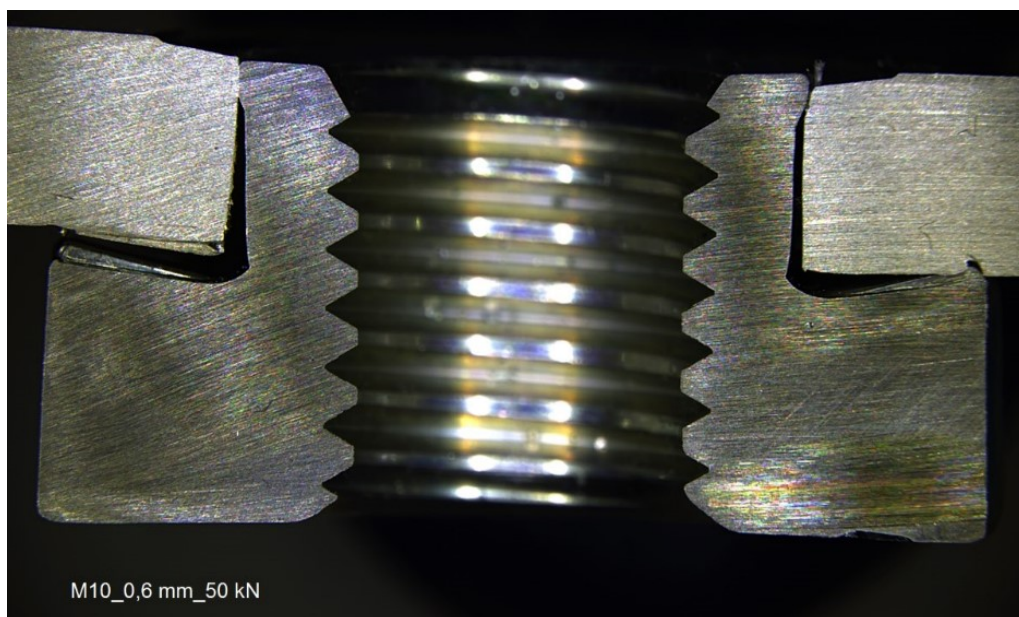
Pro všechny varianty jsem opět provedl jeden až dva broušené řezy zalisovaného prvku.

Srovnání broušeného řezu prvku lisovaného maticí s nejmenší výškou kroužku 0,6 mm a nejmenší lisovací silou 50 kN a maticí s výškou kroužku 1,2 mm a lisovací silou 80 kN je možné vidět na Obr. 52 a Obr. 53.

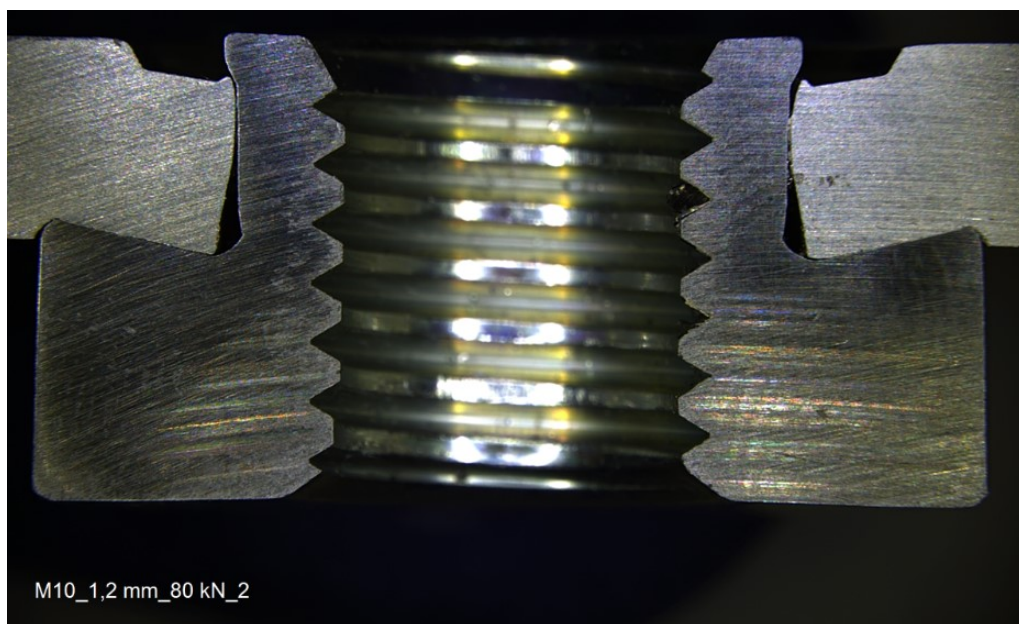
Pevnostní charakteristiky se zvětšily (při srovnání nejmenší lisovací síly a nejnižší výšky kroužku v porovnání s nejvyšší lisovací silou a nejvyššího kroužku) točivého



momentu o cca 40 Nm, což je téměř o 70 %, a u síly vylisování o cca 6000 N, což je asi o 100 %.



Obr. 52 Broušený řez maticí M10 – 50 kN, 0,6 mm



Obr. 53 Broušený řez maticí M10 – 80 kN, 1,2 mm

Oproti matici M6 se dosáhne u matice M10 zvýšením lisovací síly a zvýšení lisovacího kroužku, tzn. zalisování matice to materiálu podstatného zvýšení pevnostních vlastností zalisovaného prvku. Toto platí při této velikosti matice a tloušťce a druhu materiálu.

## 6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

### 6.1 Matice M6 x 1.0 x 2,2 - 51 1C 059C 23

Byly provedeny testy vzorků lisovacích matic M6 x 1.0 x 2,2 - 51 1C 059C 23 od firmy RB&W Corporation na matricích (nástrojích) s výškami lisovacího kroužku 0,6 mm, 0,8 mm, 1,0 mm a 1,2 mm. Na matricích těchto parametrů se matice lisovaly do materiálu AlMg3 tloušťky 2,5 mm. Lisovací síla, která byla určena podle předchozích zkoušek, byla 30 kN, 40 kN a 50 kN. Větší lisovací síla (60 kN) již materiál deformovala a při menší (20 kN) nedocházelo k dostatečnému prostříhu a protlačení materiálu matricí. Toto nebezpečí nedokonalého prostříhnutí materiálu bylo důvodem mého rozhodnutí matrici s výškou kroužku 0,6 mm a 0,8 mm nezvolit jako vhodný typ nástroje.

Skutečná stříhací síla, odečtená z grafu lisovacího procesu stroje je 11 kN a byla u všech zkoušených typů vzorků téměř konstantní, odchylka byla minimální a průběh všech procesů byl, až na maximální lisovací sílu a tím hloubku zalisování, pouze na nepatrné odchylky shodný. Je to dáno hlavně stejným typem prvku, použitého materiálu a nové nepoužité matrice.

Teoretický výpočet stříhací síly ji stanovil na velikost 14,5 kN.

Výsledky zkoušek (točivý moment, síla vylisování) byly porovnávány s interními předpisy zákazníka JLR. Všechny testované vzorky, bez rozdílu typu matrice a lisovací síly, splnily požadavky zákazníka jak na minimální točivý moment 12 Nm, tak na minimální sílu vylisování prvku 2.000 N. Dokonce většina testovaných vzorků požadavky překračuje o minimálně 50 %, viz Tabulka 3.

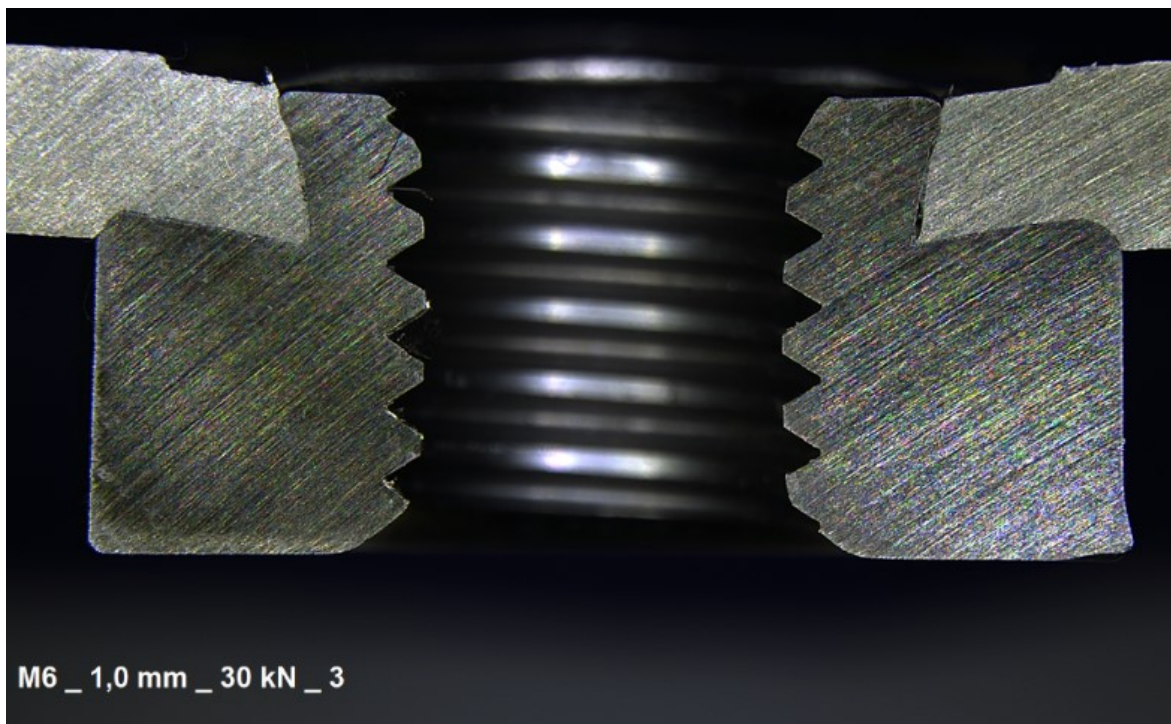
#### **Návrh nejvhodnější varianty:**

Matrice s výškou kroužku 1,0 mm

Lisovací silou 30 kN

Broušený řez viz Obr. 54.

Rozhodnutí, který typ matrice a velikost lisovací síly bylo provedeno také na základě broušených axiálních řezů jednotlivých testovaných vzorků. Broušený řez pro navrženou variantu viz Obr. 54.



Obr. 54 Broušený řez lisované matice M6 - 30 kN, 1,0 mm

Na Obr. 54 je jasně zřetelné, že materiál je do matice plně zalisován a vyplňuje celý její prostor. Lisovací kroužek matrice lisuje materiál souběžně s krajem matice. Lisovací síla je úměrná a i při menším zvětšení, z důvodu různých typů pohonů, do 40 kN nebude okraj matrice zatlačen do zpracovávaného materiálu, mezní silou je 50 kN. Výsledky podle Tabulky 3, plně odpovídají kladeným požadavkům.

Srovnání broušených řezů a obzvláště pevnostních hodnot v Tabulce 3 ukázaly, že při lisovací matici M6 není celková lisovací síla a výška lisovacího kroužku na matici důležitým faktorem. Hodnoty pevnosti pro nejmenší lisovací sílu a nejmenší výšku lisovacího kroužku matrice byly velmi málo rozdílné, o 5 – 15 %, což v celkových hodnotách nebylo určující. Důvodem v tomto případě je menší tloušťka materiálu a prostřih materiálu, který při zatlačení do matice vyplní celý její prostor i při menší lisovací síle.

## 6.2 Matice M10 x 1.5 x 5.25 - 51 3N O49C 20

Další testovanou maticí byla M10 x 1,5 x 5,25 – 51 3N O49C 20 od stejné firmy RB&W Corporation. Testované nástroje (matrice) měli stejnou výšku lisovacího kroužku jako u předchozí matice M6, tj. 0,6 mm, 0,8 mm, 1,0 mm a 1,2 mm. Použitý materiál byl stejného

druhu AlMg3, ale tloušťky 5,25 mm. Lisovací síly matice byly zvoleny 50 kN, 60 kN, 70 kN a 80 kN. Při menší síle lisovací síle (40 kN) nebyla matice dostatečně zalisována a při síle 80 kN byl zřetelný otisk vnějšího okraje matrice, proto nebyla vyšší síla než 80 kN zkoušena.

Teoretický výpočet stříhací síly ji stanovil na velikost 48,5 kN.

Skutečná hodnota síly stříhu odečtená z jednotlivých grafů procesu je u všech vzorků shodná a má hodnotu 36,0 kN. Opět jako u předchozí matice M6 je výpočtová velikost vyšší asi o 30 % oproti hodnotě výpočtové. Znovu je možné konstatovat, že pokud se pro návrh lisovacího zařízení použije hodnota výpočtové stříhací síly, bude takový návrh zahrnovat zvýšení pro nepředvíitelné vlivy materiálu, nástroje apod.

Výsledky provedených zkoušek pevnostních parametrů odpovídaly, až na pár výjimek, požadavkům předepsaných zákazníkem. Jak na minimální točivý moment 56 Nm, tak na minimální sílu vylisování prvku 2.000 N. Dokonce při vyšších lisovacích byly změřené hodnoty až dvojnásobné oproti požadovaným, viz Tabulka 4.

#### **Návrh nejvhodnější varianty:**

Matrice o výšce lisovacího kroužku 1,0 mm

Lisovací síla 60 kN

Broušený řez viz Obr. 55

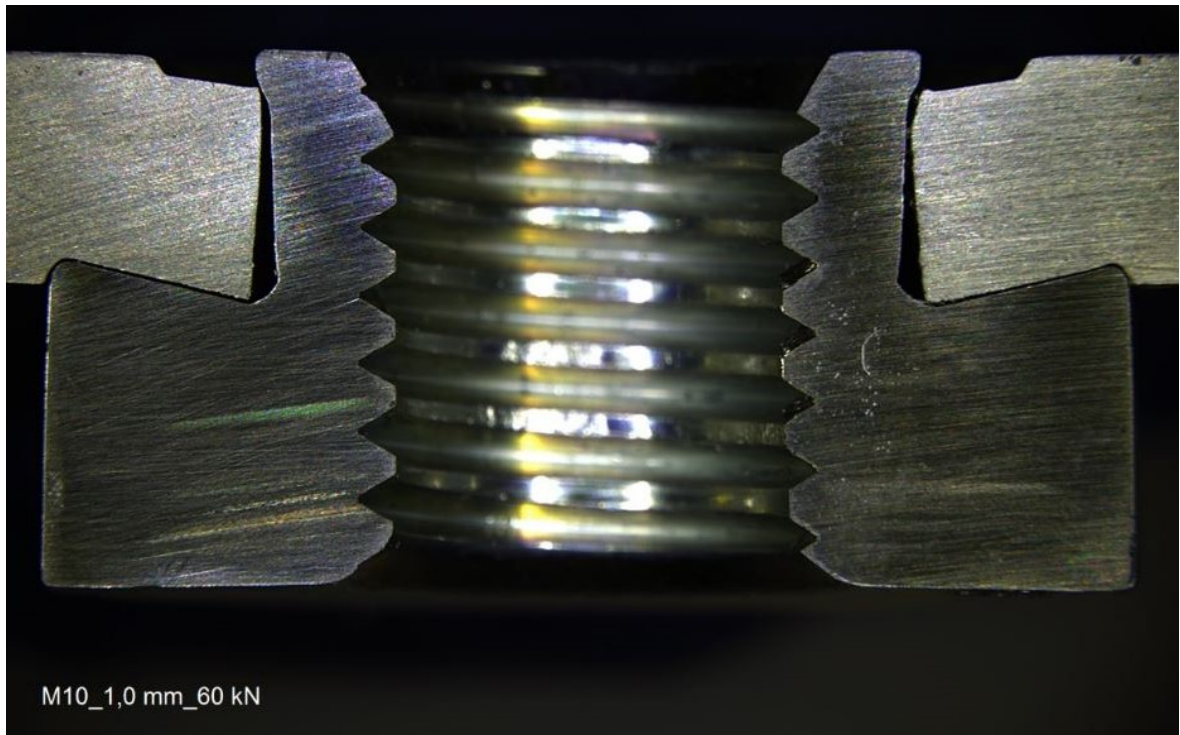
Stejně jako u zkoušek předchozí matice byly i u této zhotoveny broušené řezy pro jednotlivé varianty typy matrice a lisovací síly.

Na broušeném řezu zalisované matice M10, viz Obr. 55 je vidět znatelný rozdíl v osazení a zalisování matice do materiálu oproti matici M6. V případě matice M6 materiál plně vyplňuje prostor matice určený pro její osazení do materiálu. U matice M6 při použití materiálu tloušťky 2,5 mm je děrovací výška matice 2,20 – 1,90 mm tzn., že materiál má větší tloušťku než vlastní děrovací výška. Matice M6 je určena pro materiál tloušťky 2,20 – 2,90 mm.

V případě matice M10 tomu tak není. Rozdíl je ve výšce části matice určené pro vlastní děrování otvoru a použité tloušťce materiálu. U matice M10, kterou je možné použít pro materiál 5,25 – 6,45 mm, je děrovací výška 5,55 – 4,95 mm a tloušťka použitého materiálu 5,25 mm. Tloušťka zkoušeného materiálu je tedy nižší než výška děrovací části matice, ale v toleranci povolené tloušťky. Z toho důvodu zalisovaný materiál u matice M10 není schopen vyplnit celou děrovací část použité matice M10, oproti druhé



variantě matice M6 při tloušťce současně použitého materiálu 2,5 mm. Přesto jsou všechny požadované pevnostní zákaznické hodnoty dosaženy, dokonce velmi překročeny.



Obr. 55 Broušený řez lisované matice M10 - 60 kN, 1,0 mm

## 7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá technologickým testováním a analýzou nástrojů (matic) pro vkládání lisovaných funkčních prvků. Funkční prvky i zkoušený materiál vychází z konkrétního požadavku zákazníka. Cílem práce je navrhnout typ matrice a lisovací sílu pro jednotlivý zkoušený prvek.

Funkčním prvkem se rozumí v tomto případě prostřihávací matice rozměrů M6 a M10, výrobce RB&W Corporation které jsou zalisovány s prostřihem do materiálu AlMg3 tloušťky 2,5 mm u matice M6 a 5,25 mm u matice M10.

Lisovacími nástroji jsou lisovací matrice, které mají různou výšku lisovacího kroužku, 0,6 mm, 0,8 mm, 1,0 mm a 1,2 mm. Pro každou zkoušenou velikost matice je použita separátní matrice zhotovená podle doporučení výrobce matic. Při testování byly použity, pro jednotlivé vzorky, různé velikosti lisovacích sil. Všechny výsledky jsou vyhodnoceny v tabulkách pro každou matici separátně. Z důvodu lepší analýzy celého lisovacího procesu, byly rovněž pro každý vzorek, zhotoveny broušené řezy zalisované matice v materiálu. Broušené řezy přehledně ukázaly chování materiálu při stříhu a jeho tváření při dalším lisování do matice, při dvou různých poměrech tloušťky materiálu k děrovací výšce matice.

Proces lisování se zaznamenával softwarem servo pohonu ve formě grafu, zde je možné odečíst a lépe zanalyzovat a popsat všechny jednotlivé kroky lisovacího procesu. Obzvláště důležitá je část prostřihávacího procesu, prostřihu materiálu, kde je možné velice přesně určit nutnou sílu pro vlastní prostřih materiálu maticí. Síla prostřihu byla současně určena i výpočtem.

Požadované hodnoty pevnosti, tj. točivý moment a síla vylisování prvku z materiálu, jsou určeny zákaznickým předpisem, stejně jako vlastní postup prováděných zkoušek. Pozitivní je, že zjištěné hodnoty ve velké většině odpovídaly hodnotám požadovaných zákazníkem.

Po zanalyzování výsledků jsem navrhl v obou případech matici s výškou lisovacího kroužku 1,0 mm a lisovací sílu 30 kN pro matici M6 a 60 kN pro matici M10.

Práce má i konkrétní přímý ekonomický dopad na zákazníky. Doposud nebyl celý proces zalisování těchto prvků prozkoumán tak podrobně, aby bylo možné přesně určit skutečně nutnou stříhací a lisovací sílu pro prvek a prováděly se pouze orientační zkoušky tohoto procesu. To byl důvod proč se pro matici M6 navrhovala a používala lisovací síla

50 kN a pro matici M10 lisovací síla 80 kN. Z pohledu výsledků zkoušek jsou tyto používané síly zbytečně vysoké. V současné době je možné zákazníkům navrhnout pohon pro aplikaci těchto prvků s nižší lisovací silou. Obzvláště důležité je toto snížení lisovací síly při robotických aplikacích, kdy není nutné používat velké pohony a sníží se celková hmotnost zařízení. Zřejmý je i investiční dopad pro tyto lisovací procesy

Diplomová práce splnila svůj cíl a účel testu, analýzy a návrhu nástroje pro vkládání funkčních prvků, prostřihávacích matic. Zjištěné výsledky jednotlivých typů je možné použít i při dalších zkouškách jiných typů a průměru nejen matic, ale i prvků se stejnou lisovací geometrií a použitého materiálu.

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval prof. Jiřímu Hrubému, CSc. za velmi vstřícný přístup při celém průběhu zpracování této práce. Současně děkuji firmě TOX<sup>®</sup>-Pressotechnik GmbH za možnost zpracovat tuto práci v jejich laboratoři, jmenovitě především Dipl.-Ing. Andreasu Breyovi a Georgu Boscherovi s celým jeho týmem v laboratoři. Dále děkuji své rodině za pochopení a trpělivost po celou dobu mého studia.



## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TOX. *Einpressen von Funktionselementen*. [online]. [cit. 24. 11. 2017]. Dostupné z: <https://www.tox-de.com/verfahren/einpressen-von-funktionselementen/uebersicht/>
- [2] TOX PRESSOTECHNIK. *TOX About us* [Online] [cit. 24. 11. 2017]. Dostupné z: <http://www.tox-en.com/company/corporate-profile/about-us/>
- [3] TOX PRESSOTECHNIK. *TOX Werte und Philosophie*. [Online] [cit. 24. 11. 2017]. Dostupné z: <https://www.tox-de.com/unternehmen/unternehmensprofil/werte-und-philosophie/>
- [4] BACA, J., BÍLIK, J. *Technológia tvárenia*. 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2000. 242 s. ISBN 80-227-1339-2.
- [5] ČADA, R. *Technologie I*. 1. vydání, Ed. středisko VŠB-TUO, 2007. 359 s. ISBN 978-80-248-1507-7.
- [6] FOREJT, M. *Teorie tváření*. 1. vydání, Ed. středisko VŠB-TUO, 1991. 167 s. ISBN 80-214-0415-9.
- [7] TOX. *Einpressen von Funktionselementen*. [online]. [cit. 24. 11. 2017]. Dostupné z: [https://www.tox-de.com/verfahren/einpressen-von-funktionselementen/prozesskompetenz/#a\\_Self-clinching](https://www.tox-de.com/verfahren/einpressen-von-funktionselementen/prozesskompetenz/#a_Self-clinching)
- [8] RB&W. *Products SPAC Nut Applications*. [online]. [cit. 24. 11. 2017]. Dostupné z: <http://www.rbwmfg.com/spac-nut-application>
- [9] ARNOLD. *Fasteners*. [online]. [cit. 24. 11. 2017]. Dostupné z: <https://www.arnold-fastening.com/de/fasteners/produktuebersicht.html>
- [10] PROFIL. *Způsoby upevňování*. [online]. [cit. 24. 11. 2017]. Dostupné z: [http://www.profil-verbindungs-technik.de/cz/advantages\\_sub.php](http://www.profil-verbindungs-technik.de/cz/advantages_sub.php)
- [11] RIBE. *Produktspektrum*. [online]. [cit. 24. 11. 2017]. Dostupné z: <http://www.ribe.de/de/verbindungstechnik/produktspektrum>
- [12] JLR. *Performance and Test Requirements for Mechanically Installed Riveted, In-Pressed and Self-Piercing Fasteners*. 1.st. publ., 2015. 5 p. STJLR.60.5020.Z300.
- [13] DVS – DEUTSCHER VERBAND FÜR SCHWEISSEN UND VERWANDTE VERFAHREN E. V. *Prüfung von Verbindungseigenschaften*. DVS – Verlag, 2010. 16 S. DVS/EFB 3480-1.
- [14] RB&W. *Tooling*. [online]. [cit. 24. 01. 2018]. Dostupné z: <http://www.rbwmfg.com/tooling>

[15] ALUNET. *Technické údaje* [online] [cit. 24. 01. 2018]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/ENAW-5754>

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Tox® - Pressotechnik – centrála Weingarten [3] .....	10
Obr. 2 Produktový program .....	11
Obr. 3 Plastická deformace kluzem [5] .....	16
Obr. 4 Plastická deformace dvojčatěním [5] .....	17
Obr. 5 Křivka zpevnění (tahový diagram měkké uhlíkové oceli) [5] .....	18
Obr. 6 Deformace vláken v místě stříhu [5] .....	19
Obr. 7 Oblasti na střížné ploše [5] .....	19
Obr. 8 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [6] .....	20
Obr. 9 Průběh střížné síly (pracovní diagram) při stříhu rovnoběžnými noži [6] .....	21
Obr. 10 Základní přehled funkčních prvků [7] .....	22
Obr. 11 SPAC® - šrouby a matice [8] .....	24
Obr. 12 ARNOLD – spojovací prvky [9] .....	24
Obr. 13 PROFIL – příklady elementů [10] .....	25
Obr. 14 RIBE® - produkty [11] .....	25
Obr. 15 Klinčovací element - proces lisování [7] .....	26
Obr. 16 Broušený řez klinčovaným elementem [7] .....	27
Obr. 17 Prostřihávací element - proces lisování [7] .....	27
Obr. 18 Broušený řez prostřihávacím elementem [7] .....	27
Obr. 19 Element do otvoru - proces lisování [7] .....	28
Obr. 20 Broušený řez zalisování elementu do otvoru [7] .....	28
Obr. 21 Nýtovací element - proces lisování [7] .....	29
Obr. 22 Broušený řez nýtovacím elementem [7] .....	29
Obr. 23 Zkouška zalisované matice [12] .....	30
Obr. 24 Zkouška síly pro vylisování [12] .....	31
Obr. 25 Lisovací proces funkčního prvku [14] .....	32
Obr. 26 Schéma matice a matice s anti-rotačními drážkami [14] .....	32
Obr. 27 Použité matice M6 a M10 .....	33
Obr. 28 Vzorky M10 pro zkoušky točivého momentu .....	34
Obr. 29 Mechanické vlastnosti EN AW-5754 podle EN 485-2 [15] .....	35
Obr. 30 Lis TOX CEU 020.001 .....	36
Obr. 31 Digitální mikroskop JOMESA HFD .....	36
Obr. 32 DEPRAG AST 30 .....	37
Obr. 33 Popis matice .....	37
Obr. 34 Parametry matice pro zalisování matic .....	38
Obr. 35 Matrice pro matici M6 .....	39

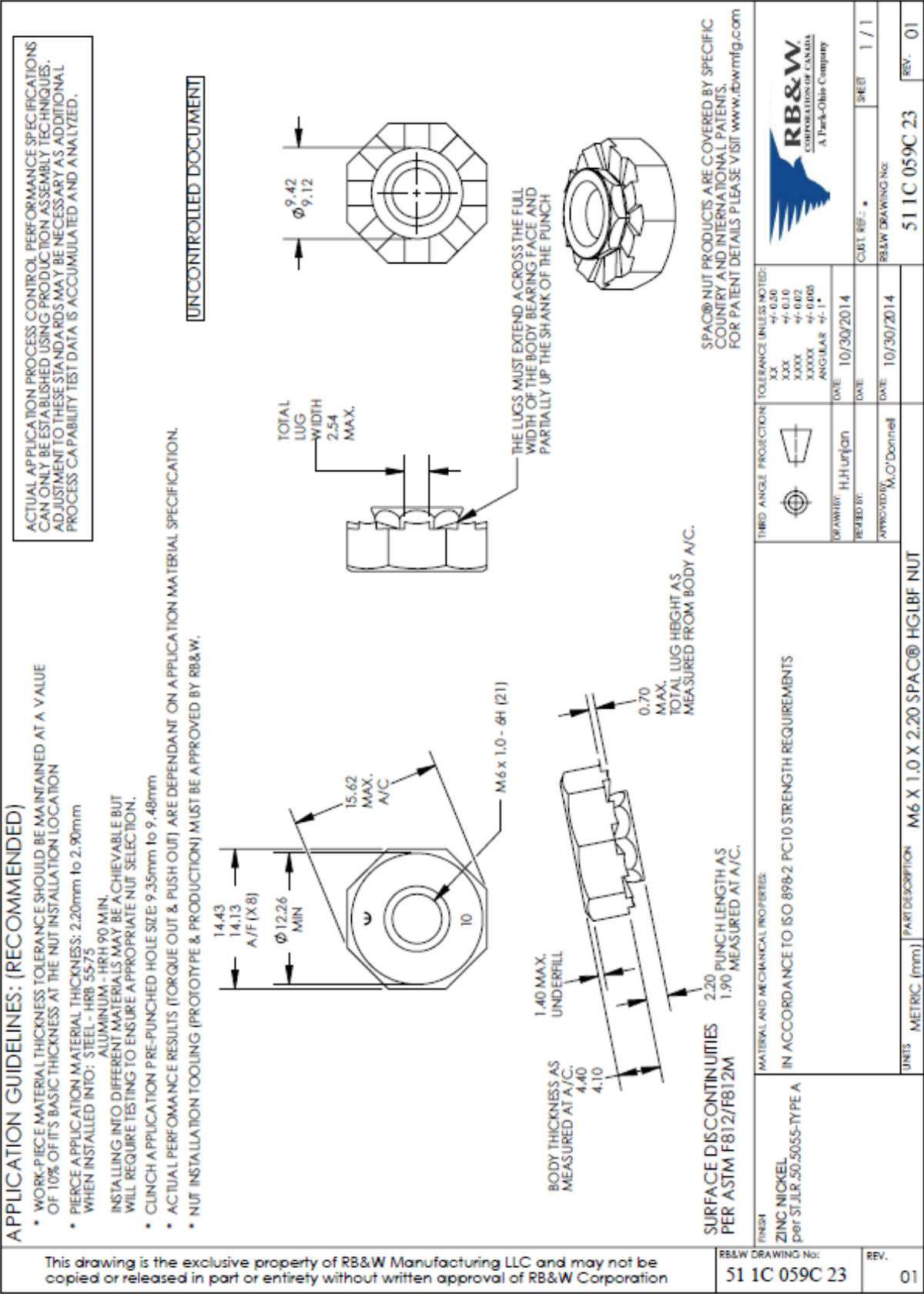
Obr. 36 Matrice a upevňovací díl matice .....	39
Obr. 37 Vzorky s lisovací silou 60 kN – deformace materiálu .....	41
Obr. 38 Neprosthnutí materiálu na vzorku .....	42
Obr. 39 Broušený řez neprosthnutým vzorkem - M6, 30 kN, 0,6 mm .....	42
Obr. 40 Prostřžený materiál v matici .....	43
Obr. 41 Lisovací proces - M6, 30 kN, 1,0 mm .....	44
Obr. 42 Vzorek s lisovací silou 50 kN - otisk matrice .....	45
Obr. 43 Broušený řez M6 – 30 kN, 0,6 mm .....	48
Obr. 44 Broušený řez M6 – 50 kN, 1,2 mm .....	49
Obr. 45 Otisk hrany matrice na vzorku M10 při lisovací síle 80 kN .....	49
Obr. 46 Deformace materiálu při síle zalisování prvku 80 kN .....	50
Obr. 47 Matrice s prostřhem ve střižné části – M10 .....	50
Obr. 48 Graf lisovacího procesu – M10, 60 kN, 1,0 mm .....	51
Obr. 49 5 překrytých lisovacích křivek z TOX Softwaru .....	52
Obr. 50 Graf zkoušky točivého momentu přesahujícího 90 Nm .....	55
Obr. 51 Vzorky se špatnými výsledky sil vylisování .....	56
Obr. 52 Broušený řez maticí M10 – 50 kN, 0,6 mm .....	57
Obr. 53 Broušený řez maticí M10 – 80 kN, 1,2 mm .....	57
Obr. 54 Broušený řez lisované matice M6 - 30 kN, 1,0 mm .....	59
Obr. 55 Broušený řez lisované matice M10 - 60 kN, 1,0 mm .....	61

## 10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 -TOX <sup>®</sup> kontury matrice pro matici RB&W M6 .....	38
Tabulka 2 TOX <sup>®</sup> kontury matrice pro matici RB&W M10 .....	38
Tabulka 3 Výsledky zkoušek matice M6 x 1,0 x 2,2 .....	47
Tabulka 4 Výsledky zkoušek matice M10 x 1,5 x 5,25 .....	54

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A - Matice M6 x 1,0 x 2,2 - 51 1C 059C 23 .....	68
Příloha B - Matice M10 x 1,5 x 5,25 - 51 3N 049C 20 .....	69
Příloha C Protokol o zkoušce vylisování matice M6 (1,0 mm, 30 kN) .....	70
Příloha D Protokol o zkoušce vylisování matice M10 (1,0 mm, 60 kN) .....	72



**APPLICATION GUIDELINES: (RECOMMENDED)**

- WORK-PIECE MATERIAL THICKNESS TOLERANCE SHOULD BE MAINTAINED AT A VALUE OF 10% OF ITS BASIC THICKNESS AT THE NUT INSTALLATION LOCATION.
- PERCE APPLICATION MATERIAL THICKNESS: 5.25mm to 5.95mm
- WHEN INSTALLED INTO: STEEL - HRB 60 MAX
- ALUMINUM - HRH 90 MIN.
- INSTALLING INTO DIFFERENT MATERIALS MAY BE ACHIEVABLE BUT WILL REQUIRE TESTING TO ENSURE APPROPRIATE NUT SELECTION.
- CLINCH APPLICATION PRE-PUNCHED HOLE SIZE: 14.8mm to 14.94mm
- ACTUAL PERFORMANCE RESULTS (TORQUE OUT & PUSH OUT) ARE DEPENDANT ON APPLICATION MATERIAL SPECIFICATION.
- SPACON REQUIRES TOOLING TO INSERT PRODUCT. TO ENSURE PROPER INSTALLATION & PERFORMANCE IT IS HIGHLY RECOMMENDED THAT TOOLING BE PURCHASED FROM RB&W DIRECTLY.

**UNCONTROLLED DOCUMENT**

**SPACON NUT PRODUCTS ARE COVERED BY SPECIFIC COUNTRY AND INTERNATIONAL PATENTS. FOR PATENT DETAILS PLEASE VISIT [www.rbwmfg.com](http://www.rbwmfg.com)**

**RB&W CORPORATION OF CANADA**  
A Park-Ohio Company

TOLERANCE UNLESS NOTED:		THIRD ANGLE PROJECTION		DATE	
XXX	±0.25		DATE	05/20/2016	
XXXX	±0.10		DATE	05/20/2016	
XXXXX	±0.025		DATE	05/20/2016	
ANGULAR	±0.1°		DATE	05/20/2016	

**FINISH**  
ZINC NICKEL  
per S150

**SURFACE DISCONTINUITIES**  
PER ASTM F812/F812M

**MATERIAL AND MECHANICAL PROPERTIES**

- MATERIAL PER ISO 898-2 PC10 (USE OF BORON OPTIONAL)
- PC10 PROOF LOAD WHEN THREADED USING 60 THREAD FORMING TAP OR TAPPIE 2000 FASTENER
- PRODUCT HARDNESS: HV 200 - HV 258

**UNITS**  
METRIC (mm)

**PART DESCRIPTION**  
M10 x 1.5 x 5.25 SPACON PC10 TR HGLB F NUT

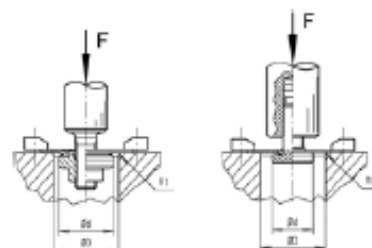
**REVISION**  
REV. 01

**51 3N 049C 20**

## Prüfprotokoll

Prüfberichts-Nr. : 17890046.00DE Materialdicke [mm] : 2,5  
 Kunde : TOX Weingarten Festigkeitsuntersuchung : Auspresskraft  
 Bearbeiter : Martin Divis Matrizeninnen Ø D [mm] : 20  
 Einpresselement : 51 1C 059C 28 Probenabmessung [mm] : 80 x 80  
 Materialbezeichnung : AlMg3

Vorkraft : 1 N  
 Prüfgeschwindigkeit : 10 mm/min

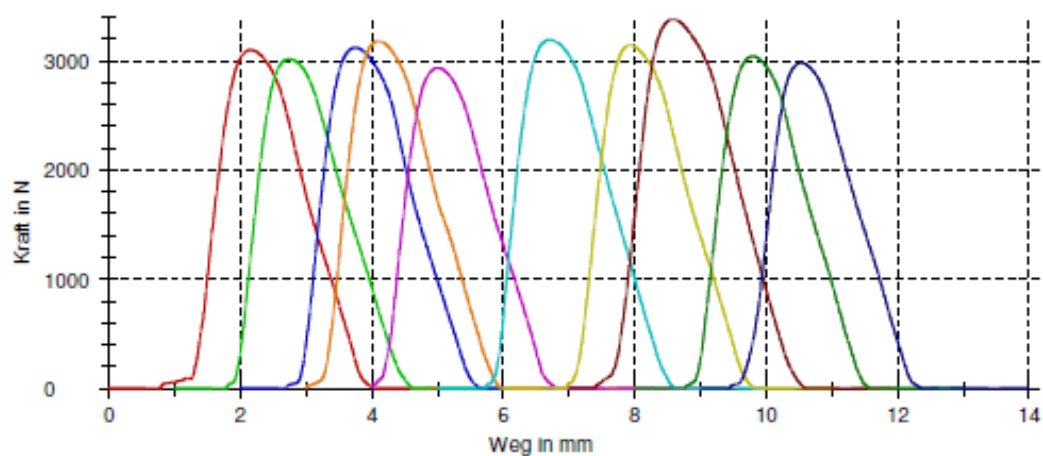


Prüfung entgegen der Funktionsrichtung

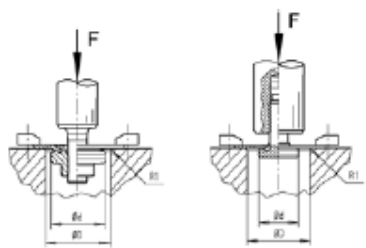
## Prüfergebnisse:

Legende	Nr	Einpresselement	Probenbezeichnung	F <sub>max</sub> N	Einpresskraft [kN]
<span style="background-color: red; color: black;">■</span>	1	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	3100	30
<span style="background-color: green; color: black;">■</span>	2	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	3010	30
<span style="background-color: blue; color: black;">■</span>	3	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	3120	30
<span style="background-color: orange; color: black;">■</span>	4	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	3180	30
<span style="background-color: purple; color: black;">■</span>	5	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	2930	30
<span style="background-color: cyan; color: black;">■</span>	6	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	3190	30
<span style="background-color: yellow; color: black;">■</span>	7	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	3140	30
<span style="background-color: brown; color: black;">■</span>	8	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	3380	30
<span style="background-color: darkgreen; color: black;">■</span>	9	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	3040	30
<span style="background-color: darkblue; color: black;">■</span>	10	51 1C 059C 28	Platinenmaterial	2980	30

**Seriengrafik:**

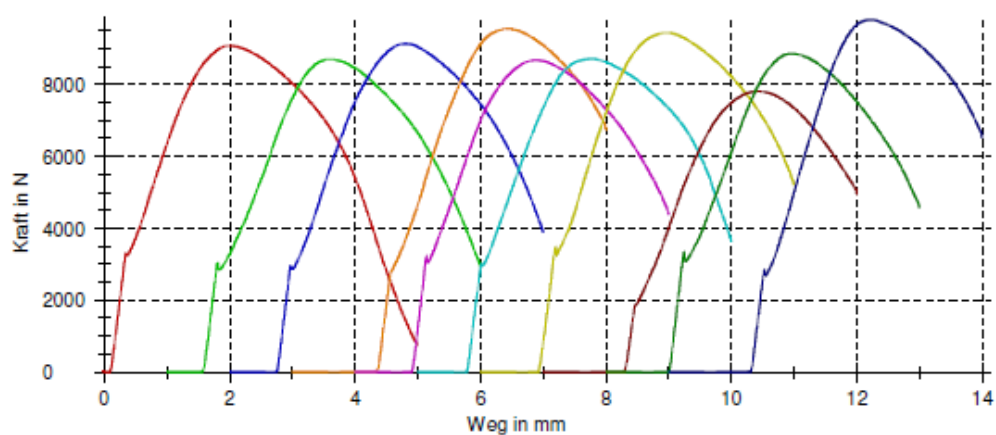


**Bemerkung :**

<b>TOX®</b> <b>PRESSOTECHNIK</b>		25.10.17																																																																		
<b>Prüfprotokoll</b>																																																																				
Prüfberichts-Nr. : 17890048.00DE Kunde : TOX Pressotechnik GmbH Bearbeiter : Martin Divis Einpresselement : W714684 Materialbezeichnung : AlMg3	Materialdicke [mm] : 5,0 Festigkeitsuntersuchung : Auspresskraft Matrizeninnen Ø D [mm] : 30 Probenabmessung [mm] : 80 x 80																																																																			
Vorkraft : 1 N Prüfgeschwindigkeit : 10 mm/min	 <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">Prüfung entgegen der Funktionsrichtung</p>																																																																			
<b>Prüfergebnisse:</b>																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Legende</th> <th style="width: 5%;">Nr</th> <th style="width: 15%;">Einpresselement</th> <th style="width: 20%;">Probenbezeichnung</th> <th style="width: 10%;">F<sub>max</sub> N</th> <th style="width: 10%;">Einpresskraft [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="background-color: red;"></td><td style="text-align: center;">1</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">9070</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: green;"></td><td style="text-align: center;">2</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">8700</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: blue;"></td><td style="text-align: center;">3</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">9130</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: orange;"></td><td style="text-align: center;">4</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">9540</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: purple;"></td><td style="text-align: center;">5</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">8670</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: cyan;"></td><td style="text-align: center;">6</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">8710</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: yellow;"></td><td style="text-align: center;">7</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">9430</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: brown;"></td><td style="text-align: center;">8</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">7810</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: darkgreen;"></td><td style="text-align: center;">9</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">8860</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> <tr><td style="background-color: darkblue;"></td><td style="text-align: center;">10</td><td>W714684</td><td>Platinenmaterial</td><td style="text-align: center;">9790</td><td style="text-align: center;">60</td></tr> </tbody> </table>	Legende	Nr	Einpresselement	Probenbezeichnung	F <sub>max</sub> N	Einpresskraft [kN]		1	W714684	Platinenmaterial	9070	60		2	W714684	Platinenmaterial	8700	60		3	W714684	Platinenmaterial	9130	60		4	W714684	Platinenmaterial	9540	60		5	W714684	Platinenmaterial	8670	60		6	W714684	Platinenmaterial	8710	60		7	W714684	Platinenmaterial	9430	60		8	W714684	Platinenmaterial	7810	60		9	W714684	Platinenmaterial	8860	60		10	W714684	Platinenmaterial	9790	60		
Legende	Nr	Einpresselement	Probenbezeichnung	F <sub>max</sub> N	Einpresskraft [kN]																																																															
	1	W714684	Platinenmaterial	9070	60																																																															
	2	W714684	Platinenmaterial	8700	60																																																															
	3	W714684	Platinenmaterial	9130	60																																																															
	4	W714684	Platinenmaterial	9540	60																																																															
	5	W714684	Platinenmaterial	8670	60																																																															
	6	W714684	Platinenmaterial	8710	60																																																															
	7	W714684	Platinenmaterial	9430	60																																																															
	8	W714684	Platinenmaterial	7810	60																																																															
	9	W714684	Platinenmaterial	8860	60																																																															
	10	W714684	Platinenmaterial	9790	60																																																															



**Seriengrafik:**



**Bemerkung :**